Economic Analysis

Research Paper Series

A Frontier Approach to Canada-U.S. Multifactor Productivity Performance

by Kaïs Dachraoui and Tarek M. Harchaoui

No. 010

Statistics Canada Statistique Canada

Canada

ECONOMIC ANALYSIS RESEARCH PAPER SERIES

The Economic Analysis Research Paper Series provides for the circulation of research conducted by the staff of National Accounts and Analytical Studies, visiting Fellows and academic associates. The research paper series is meant to stimulate discussion on a range of topics including the impact of the New Economy, productivity issues, firm profitability, technology usage, the effect of financing on firm growth, depreciation functions, the use of satellite accounts, savings rates, leasing, firm dynamics, hedonic estimations, diversification patterns, investment patterns, the differences in the performance of small and large, or domestic and multinational firms, and purchasing power parity estimates. Readers of the series are encouraged to contact the authors with comments, criticisms and suggestions.

The primary distribution medium for the papers is the Internet. These papers can be downloaded from the Internet at www.statcan.ca for free. Papers in the series are distributed to Statistics Canada Regional Offices and provincial statistical focal points.

All papers in the Economic Analysis Series go through institutional and peer review to ensure that they conform to Statistics Canada's mandate as a government statistical agency and adhere to generally accepted standards of good professional practice.

The papers in the series often include results derived from multivariate analysis or other statistical techniques. It should be recognized that the results of these analyses are subject to uncertainty in the reported estimates.

The level of uncertainty will depend on several factors: the nature of the functional form used in the multivariate analysis; the type of econometric technique employed; the appropriateness of the statistical assumptions embedded in the model or technique; the comprehensiveness of the variables included in the analysis; and the accuracy of the data that are utilized. The peer group review process is meant to ensure that the papers in the series have followed accepted standards to minimize problems in each of these areas.

Publications Review Committee
Analytical Studies Branch, Statistics Canada
18th Floor, R.H. Coats Building
Ottawa, Ontario, K1A 0T6
Telephone: (613) 951-1804

A Frontier Approach to Canada-U.S. Multifactor Productivity Performance

by

Kaïs Dachraoui
and
Tarek M. Harchaoui*

11F0027 No. 010
ISSN: 1703-0404
ISBN: 0-662-33243-1

Micro-Economic Analysis Division
18-F R.H. Coats Building
Ottawa, K1A 0T6
Statistics Canada
Facsimile Number: (613) 951-5403
* (613) 951-9856
Email: harctar@statcan.ca

April 3, 2003

The authors' names are listed alphabetically.

The opinions expressed herein are those of the authors and do not necessarily reflect the opinions of Statistics Canada.

We are indebted to John Baldwin, France Filion and two anonymous reviewers for valuable comments and to Faouzi Tarkhani for capable assistance in the construction of the data. An earlier version of this paper was presented at the 2002 Canadian Economic Association Meeting in Calgary.

Aussi disponible en français

103-03729/

Table of Contents

ABSTRACT ..... **IV**

EXECUTIVE SUMMARY ..... **V**

1. INTRODUCTION **1**

II. PRODUCTIVITY MEASUREMENT: A FRONTIER APPROACH **2**

III. DATA SOURCES AND DESCRIPTIVE STATISTICS **5**

IV. METHODOLOGY AND ANALYSIS OF THE RESULTS **9**

1. *IMPLEMENTATION OF THE FRONTIER TECHNIQUE TO CANADA-U.S. DATA* 9
2. ANALYSIS OF THE RESULTS 10
   - *2.1. Business Sector* *10*
   - *2.2 Manufacturing Sector* *11*
   - *2.3 Robustness of the Results and Extension of the Analysis* *15*

V. COMPARISON BETWEEN FRONTIER AND STANDARD APPROACH TO PRODUCTIVITY MEASUREMENT **18**

VI. CONCLUSION **20**

APPENDIX: THE MALMQUIST INDEX **22**

REFERENCES **24**

Abstract

Much of the recent Canadian productivity debate has focused on the Canada-U.S. productivity growth gap but fewer efforts have been directed to tracing and quantifying its sources. This paper fills this gap by exploiting the frontier approach to productivity measurement. Using a nonparametric programming method, we construct a North American frontier for the business sector and for the manufacturing sector based on data from the two countries. Each sector or industry is compared to that frontier. How much closer a particular sector or industry of any country gets to the North American frontier is known as technical efficiency and results from 'catching up' to best-practice production technology; how much the North American frontier shifts at each sector's or industry's observed input mix is known as 'technical change' and results from the type of innovation that brings best-practice technology into the country. The combined effect of these two changes yields a frontier version of multifactor productivity growth that is derived from the Malmquist index of multifactor productivity growth.

The paper concludes that, whether at the level of the aggregated business sector or at the manufacturing sector level, Canada's productivity 'problem' during the 1988-2000 period, is mostly ascribed to the deterioration of its technical efficiency—or the extent to which firms are using production technology that places them behind the leaders. The results also suggest that Canada's productivity surge in the 1995-2000 period was mainly due to a recovery in its technical efficiency. We also find that, over the 1981-1997 period, the dispersion of the distribution of technical efficiency across North American manufacturing industries increased drastically.

Keywords: productivity, efficiency, technical change, Malmquist index.

Executive Summary

This paper explores an alternate experimental measure of multifactor productivity growth based on the production frontier, a method that benchmarks observed units (firms or industries) against an estimated best-practice production frontier. This estimated frontier specifies the maximum possible output that can be produced from different combinations of inputs, based on the observed input-output mixes of sampled industries or firms. Benchmarking each unit against such a frontier generates a relative measure of its efficiency compared to what is theoretically possible by following best practice. This measure is based on a distance from the estimated production frontier and ranges from zero (no output produced) to one (maximum output allowed by the technology on the frontier).

This paper employs a Malmquist index to calculate a measure of productivity change that takes into account both movements in the production frontier and how close firms are to that frontier. How much closer a particular sector or industry of any country gets to the North American frontier is known as technical efficiency and improvements in efficiency occur when firms 'catch up' to best-practice technology; how much the North American frontier shifts at each sector's or industry's observed input mix is known as 'technical change' and results from the introduction of 'innovations' that advance best-practice technology. Changes in the frontier arise because of innovations that lead to the adoption of best-practice technology in Canada. Changes that bring firms closer to the best-practice production frontier occur when advanced technologies are diffused from the leaders to the followers in an industry or from one industry to another.

The combined effect of these two changes yields a frontier version of multifactor productivity growth or the Malmquist index of multifactor productivity growth, defined in terms of output distance functions. Unlike the traditional indexes employed in productivity analysis, the Malmquist index has the property of making the distinction between efficiency change and technical change. This distinction is important as the technical change component reflects only the potential for technical change for a given industry. Any outward shift in the frontier may leave non-innovators behind, that is, their efficiency may fall when technical progress occurs. If technology improvements that are made by industry leaders diffuse only slowly to industry followers, inefficiency increases.

Using Canada-U.S. data for the business sector and its constituent manufacturing industries, the paper reaches the following conclusions:

1) At the aggregate business sector level, the U.S. set the technical efficiency frontier of the North American economy for the 1981-2000 period. The Canadian business sector was not far behind the North American efficiency frontier during the 1981-1987 period; but it subsequently fell behind until 1992 when it stood at only 90% of the U.S. efficiency. Canada's business sector technical efficiency trended up since 1993 and by the end of the 1990s it recovered much of the lost ground experienced between the late 1980s and the early 1990s. While the analysis does not establish whether the recovery of Canada's efficiency should be attributed to cyclical forces or to changes in the underlying trend, it indicates that the recent productivity revival is due to the improvement in Canada's technical efficiency.

2) Over the entire period, productivity growth in the aggregate business sector in Canada was behind that of the United States, primarily because of the deterioration in the technical efficiency in Canada. Thus the primary problem was the slower rate of diffusion of best-practice technology in Canada.

3) The manufacturing sector presents a similar story. In the manufacturing sector, the productivity growth gap in favour of the U.S. during the 1981-1997 period, much like its business sector counterpart, is attributable to Canada's efficiency degradation compared to the U.S. Both countries showed an almost identical pace of technical change over the same period (7.5% for Canada and 7.6% for the U.S.).

4) The North American manufacturing sector experienced a major shift in the distribution of technical efficiency. In 1982, all of the thirty eight manufacturing industries had efficiency levels higher than 0.70, (the level '1' means that the industry is technically efficient) compared to 17 industries in 1988 and only 6 industries in 1997. Out of these 17 industries in 1988, only 6 were Canadian, compared to 3 out of 7 in 1997. Two phenomena have emerged: First, there was a change in the nature of the skewness of the technical efficiency distribution over the years. Second, a large proportion of Canadian industries improved their efficiency during the mid-1990s. In 1997, for example, one out of two of the least technically efficient North American industries were Canadian. This is a sharp decline compared to 1988 when Canada had two industries out of three of the least technically efficient.

1. Introduction

The relative productivity performance of the Canadian and the U.S. economies remains an important area of inquiry among economists and policymakers. Interest in this topic has increased in view of the Canada-U.S. Free Trade Agreement and its implications for trade volume, living standards, and industrial development.

While the productivity gap between Canada and the U.S. has generally narrowed during the 1960s and the 1970s, recent evidence suggested that this convergence has stalled, triggering the so-called 'Canadian productivity debate'. Although much of the debate has focused on the existence of the Canada-U.S. productivity growth gap, there have been few attempts to trace this gap to its source. This paper exploits the frontier approach to productivity measurement in order to quantify the extent to which this gap arises from shifts in the production frontier (technical change) or whether it is caused by firms moving closer to the frontier (efficiency change). Technical change results from shifts in the production frontier and arises because of innovations that lead to the adoption of best-practice technology in Canada. Efficiency improvements occur when firms move closer to the best-practice production frontier. This is brought about by the diffusion of advanced technologies from the leaders to the followers in an industry or from one industry to another.[1]

To pursue our goal, we apply the Malmquist index and we decompose multifactor productivity growth into two components—changes in efficiency and shifts in technology over time. We use a technique developed by Färe *et al.* (1989) to construct a North American frontier based on data covering the Canadian and U.S. business sectors, the manufacturing sectors and its constituent industries. Each national sector or industry is compared to the corresponding North American frontier. How much closer a country sector or specific industry gets to the North American frontier is called 'catching up'; how much the sectoral or industry frontier shifts at each observed input mix is called 'technical change' or 'innovation'. The combination of these two changes yields a frontier version of multifactor productivity change.

The paper finds that Canada's 'productivity problem', which emerged during the second half of the eighties, is largely ascribed to the deterioration of its efficiency—Canada is getting farther away from the North American frontier. For example, during the 1981-1997 period, close to three-fifths of the productivity growth gap in favour of the U.S. was attributable to the decline of Canada's efficiency at 0.3% per year on average.

---

[1] The productivity group in the Micro-Economics Analysis Division produces a set of non-parametric multifactor productivity estimates that accord with international best practice as outlined by the OECD Productivity Manual (OECD 2001). However, in order to keep abreast of new developments and to provide quality control for the databases that are used to produce these estimates, the productivity group also experiments with alternate methods of measuring productivity. The estimates in this paper are derived from one such attempt to explore a new domain—one that tries to separate gains in productivity from shifts in the production frontier and from movements of firms that are off the frontier to points closer to the frontier. The estimates in this paper are experimental and will differ from the official estimates that are listed in Statistics Canada's CANSIM database.

Canada's efficiency problem exists across most major sectors. Canada's productivity growth gap in the manufacturing sector, at 0.7 percentage points, is almost entirely due to its more rapid efficiency deterioration compared to the U.S.

The remainder of the paper is organized as follows: Section II provides a brief introduction to the Malmquist productivity index. Section III discusses the data sources and provides a descriptive analysis of the data. Section IV discusses the application of this method to the data along with the results and their implication. A comparison of the results of the frontier analysis to the results obtained by the standard productivity estimation procedure is included in Section V. Concluding remarks are presented in Section VI. The Appendix provides more technical details on the frontier approach utilized in this paper.

II. Productivity Measurement: A Frontier Approach

In this section, we provide an intuitive introduction to the Malmquist index. A more formal presentation of the index, the distance measure from which it is constructed, and an explanation of how the productivity measures are calculated, are given in the Appendix.

Figure 1 illustrates the simple case where input x is used to produce one output y and the technology is characterized by constant returns to scale. The constant returns to scale technologies for period t, S^t, and period $t+1$, S^{t+1} are bounded by the x-axis and the rays from the origin. Observations (x^t, y^t) belong to the technology of period t and similarly for observations of period $t+1$

Note that technical efficiency at time t and $t+1$ are respectively given by $\frac{OF}{OE}$ and $\frac{OC}{OA}$.

Productivity growth P_o in our example is measured by

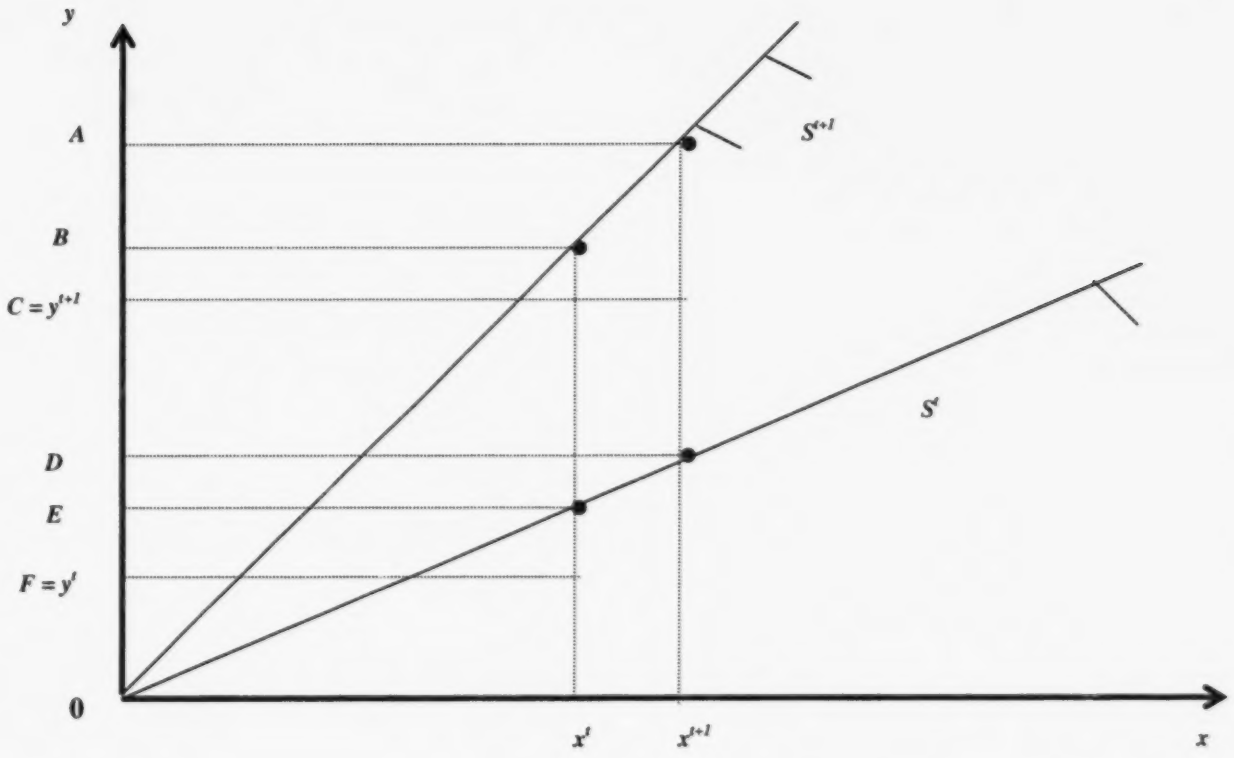
$$P_o = \left(\frac{\frac{OC}{OX_{t+1}}}{\frac{OF}{OX_t}} \right). \tag{1}$$

Now this expression can be rewritten as

$$P_o = \left(\frac{\frac{OC}{OA}}{\frac{OF}{OE}} \right) \left(\frac{\frac{OA}{OX_{t+1}}}{\frac{OE}{OX_t}} \right). \tag{2}$$

The first term in equation (2) is the ratio of the relative efficiency of production in the $t+1$ period to that in period t, while the second term is the ratio of productivity of frontier production in period 2 to productivity of frontier production in period t. Overall productivity P_o can increase either because efficiency improves or because the frontier shifts upwards.

Figure 1. Malmquist Multifactor Productivity Index



Productivity P_o in this example can also be written as

$$P_o = \left(\frac{\frac{OC}{OD}}{\frac{OF}{OE}}\right)\left(\frac{\frac{OD}{OX_{t+1}}}{\frac{OE}{OX_t}}\right) = \left(\frac{\frac{OC}{OD}}{\frac{OF}{OE}}\right) \text{ since } \frac{OD}{OX_{t+1}} = \frac{OE}{OX_t}. \tag{3}$$

Alternately it can be written as

$$P_o = \left(\frac{\frac{OC}{OA}}{\frac{OF}{OB}}\right)\left(\frac{\frac{OA}{OX_{t+1}}}{\frac{OB}{OX_t}}\right) = \left(\frac{\frac{OC}{OA}}{\frac{OF}{OB}}\right) \text{ since } \frac{OA}{OX_{t+1}} = \frac{OB}{OX_t}. \tag{4}$$

Using our example, the Malmquist index is the geometric mean of equation (3) and (4)

$$M_o = \left(\frac{\frac{OC}{OD}}{\frac{OF}{OE}}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{\frac{OC}{OA}}{\frac{OF}{OB}}\right)^{\frac{1}{2}}. \tag{5}$$

Equation (5) is the geometric average of two terms, each of which is the rate of change in technical efficiency. For example, the first term in (5) measures relative technical efficiency using the inputs applied at time $t+1$ and the production frontier of time t over the relative efficiency using inputs at time t and the same production frontier. As such, it captures efficiency changes that occur as the amount of inputs change, that is, whether production is getting closer or farther from the frontier (catching up effect). The second term is a similar measure but uses the production frontier at time $t+1$. The overall index is thus a geometric mean of two shifts in efficiency measured using the production technology of two different periods.

Equation (5) can be written as:

$$M_o = \left(\frac{\frac{OC}{OA}}{\frac{OF}{OE}} \right) \left(\frac{OA}{OD} \cdot \frac{OB}{OE} \right)^{\frac{1}{2}}. \qquad (6)$$

The first term in (2) measures relative technical efficiency at time t and $t+1$ and captures efficiency changes that occur between the two time periods, that is, whether production is getting closer or farther from the frontier (catching up effect). The second term is the geometric mean of two ratios: $\frac{OA}{OD}$ that captures what potentially could have been produced using technology at time $t+1$ relative to what could have been produced using the technology at time t given the input of period $t+1$, $\frac{OB}{OE}$ is the same ratio, but is evaluated using the input of period t. The measure of technical change is thus a geometric mean of two shifts in technology at input levels x_t and x_{t+1}. The Malmquist index then jointly captures the shift in the production function and the increase in relative efficiency.

The Malmquist index and its components are calculated under the assumption of constant returns to scale technology. We would expect the technical efficiency component to capture the effects of technology diffusion. Fluctuations in productivity due to the variation in capacity utilisation and differences in the structure of each industry will also be reflected in changes in the efficiency component.

Improvements in productivity yield Malmquist index values greater than one hundred. Deterioration in performance over time is associated with a Malmquist index less than one hundred. The same interpretation applies to the values taken by the components of the overall multifactor productivity index. Improvements in the efficiency component yield index values greater than one hundred and are considered to be evidence of catching up to the frontier. Values of the technical change component greater than one hundred are considered to be evidence of technological progress. The component values may move in opposite directions. Thus, in situations where inefficiency exists, multifactor productivity growth is defined as the net effect of changes in efficiency and shifts in the production frontier, the latter being technical change.[2]

[2] In the standard growth accounting and non-parametric index number approaches, such inefficiency is typically ignored.

It should be noted that when the distance measures are used with industry rather than firm level statistics, we are implicitly assuming that the factor proportions that set the frontier are feasible to every industry—that technology does not constrain an industry from being able to use the factor proportions found in another industry to achieve just as much real output. Then, our measure of efficiency change over time captures the extent to which resources are ultimately being reallocated towards those industries where factors use is most productive.

III. Data Sources and Descriptive Statistics

The model detailed in the previous section is estimated us ıg Canadian and U.S. data for the business sector over the 1981-2000 period and for the manufacturing sector and its constituent 19 two-digit manufacturing industries over the period 1981 to 1997.

The data on real output, capital and labour inputs for the business sector, the manufacturing sector and its constituent manufacturing industries are from Statistics Canada and the U.S. Bureau of Labor Statistics (BLS) KLEMS databases, with one exception. Manufacturing real output estimates are from the U.S. Bureau of Economic Analysis, which produces estimates of real value added, comparable to their Canadian counterpart. A brief description of the data set is in order.[3]

Real Output: Real gross domestic product is the basis of the output measure that is used here for productivity estimates of the business sector. This output measure is based on and is consistent with the Income and Expenditures Accounts (IEA) and the National Income and Product Accounts (NIPA) prepared, respectively by Statistics Canada and the U.S. Bureau of Economic Analysis.

Real business sector output is an annual-weighted (Fisher) index. It is constructed from the gross domestic product (GDP) excluding the following components: General government, non-profit institutions and the rental value of owner-occupied dwellings. These same exclusions are made when calculating current dollar output and inputs (in current and constant prices) for the sector.

For the manufacturing sector and its constituent industries, the study makes use of the concept of real value added (gross product originating in the U.S.), defined as gross output minus intersectoral transactions or intermediate inputs (goods and service inputs purchased from other domestic industries and foreign sources).[4] Value added represents, therefore, the value that is added, by the application of capital and labour to intermediate inputs in converting those inputs to finished products.[5]

---

[3] Output and inputs were aggregated up from detailed components and then the Malmquist methodology was applied at the level of one output and two combined inputs.

[4] Gross output is equal to sales, plus inventory change.

[5] The U.S. aggregate output based on the notion of gross output originating (which is analogous to value added) tends to overestimate the business sector's GDP growth in comparison to final demand GDP.

Labour Input: Both Canada and the U.S. make use of the same concept of labour input in their business sector estimates of multifactor productivity. Canada makes use of household survey data to disaggregate total hours into hours worked by different types of workers classified by demographic variables such as age and education. Labour input is calculated as a weighted sum of hours worked by different types of workers, and the hours worked of the different categories are weighted by their relative wage rates. This is done to take into account differences in labour composition.

At the level of the business sector, the BLS breaks the hours worked down into three categories—educational attainment, work experience, and gender. Statistical regression techniques are used to remove the impact of other worker characteristics such as marital status on average wage rates in each of these three groups. The BLS then uses predicted wage rates for each of the categories. Canada uses educational attainment, age and worker type for its groupings and uses average wage rates in each of the categories as weights without correcting for other worker characteristics.[6]

In contrast to the practice followed for the business sector, U.S. labour input for manufacturing is measured as the sum of hours at work of all persons. Therefore, in order to provide cross-country comparability in this study, Canadian labour input estimates both for the business sector as a whole and for the manufacturing sector were brought to the lowest common denominator, which is the straight sum of hours worked. Hence, in this study hours for both Canada and the U.S. are directly aggregated across all worker groups and the resulting growth rates that are calculated from this sum do not include the effects of changing labour composition.

Capital Input: The capital input for the multifactor productivity measures in both Canada and the U.S. is computed in accordance with a service flow concept for physical capital assets—machinery and equipment, structures, inventories, and land. Capital inputs for major sectors are determined in three main steps: 1) a detailed array of capital stocks is developed for various asset types in different industries; 2) asset-type capital stocks are aggregated for each industry to measure capital input for the industry; and 3) industry capital inputs are aggregated to measure sectoral level capital input.

The Canadian asset detail consists of 16 types of machinery of equipment (28 for the U.S.), 6 types of non-residential structures (22 for the U.S.), 4 types of residential structures[7] (9 for the U.S.), 3 types of inventories (by stage of processing), and land.

For each industry, Statistics Canada' procedures are applied to 122 industries (57 for the U.S.) in the business sector corresponding, approximately, to the 3-digit 1980 SIC level (2-digit 1987 SIC for the U.S.). These measures of capital stocks are aggregated using a Fisher (Törnqvist for the U.S.) chain index procedure. The weight for each asset type is based on the share of property income estimated to be accruing to that asset type in each industry averaged over 2 years. Property income in each industry is allocated to asset types by employing estimates of the

---

[6] Not taking worker characteristics into account has little effect on the estimates (See Baldwin and Harchaoui, 2001, chapter 3)

[7] Owner-occupied housing is excluded for both countries.

'implicit rental prices' of each asset type. Because some asset types tend to deteriorate much more quickly than others and because of tax rules that are specific to asset types, the economic cost (rental price) of employing a dollar's worth of stock varies substantially by asset type.

Table 1a. Average Annual Growth Rates of Output and Inputs, 1981-1997: Business Sector (1981=100)

	Real GDP		Capital Services		Hours	
	Canada	U.S.	Canada	U.S.	Canada	U.S.
1981	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1982	95.1	97.2	102.5	104.1	94.9	97.3
1983	98.0	102.5	104.9	107.4	94.9	99.1
1984	105.5	111.6	107.3	112.6	97.9	105.0
1985	110.9	116.4	111.2	117.9	102.1	107.2
1986	113.7	120.7	115.3	123.0	105.5	107.8
1987	119.5	125.1	120.9	127.1	109.8	111.1
1988	125.5	130.5	127.3	130.9	114.6	114.5
1989	128.3	135.1	133.9	134.9	117.3	117.3
1990	126.6	137.0	138.4	138.5	116.6	117.4
1991	120.9	135.4	141.7	141.7	111.7	114.6
1992	121.4	140.5	143.6	144.6	109.6	114.6
1993	125.2	145.1	145.0	148.3	111.3	117.6
1994	134.0	152.1	148.6	152.9	115.0	121.7
1995	139.3	157.0	152.7	158.7	116.9	124.8
1996	142.7	163.9	157.4	165.3	119.8	126.7
1997	151.2	172.5	165.1	173.4	123.8	130.4
1998	158.3	181.1	173.0	184.1	126.9	133.4
1999	167.8	189.7	180.4	195.0	131.3	136.1
2000	176.6	198.4	187.6	206.6	136.1	137.6
1981-2000	**3.0**	**3.7**	**3.4**	**3.9**	**1.6**	**1.7**
1981-1997	**2.6**	**3.5**	**3.2**	**3.5**	**1.3**	**1.7**

At the sector level, aggregate capital input is obtained by a fisher chained index for Canada and a Törnqvist index for the U.S. by aggregating each industry's capital input using each industry's two-period average share of total capital income as weights.

In Tables 1a and 1b, we provide the average annual growth rates of real output and real inputs for the business sector over the 1981-2000 period, the manufacturing sector and its constituent industries for the period 1981-1997.

Over the 1981-2000 period, the U.S. business sector's real GDP grew at a faster pace than its Canadian counterpart (3.7% for the U.S. vs. 3.0% for Canada), while capital deepening (as measured by the growth of the ratio of capital services to hours) in Canada grew at a slower pace than in the U.S. rate (1.8 percent vs. 2.2 percent, respectively for Canada and the U.S.).

The data for the manufacturing sector cover only the period 1981-1997. Over this period, the gap in output growth was slightly greater for the business sector (2.6% for Canada compared with 3.5% in the U.S.) than it was for the entire 1981-2000 period. The U.S. also has a faster growth

rate in the manufacturing sector (3.8% in the U.S. vs. 3.1% for Canada) and a more rapid increase of capital deepening (2.6% in the U.S. vs. 2.3% for Canada).

Table 1b. Average Annual Growth Rates of Output and Inputs, 1981-1997: Manufacturing Sector

Industry	Canada			U.S.		
	Real GDP	Capital Services	Hours	Real GDP	Capital Services	Hours
Manufacturing Sector	**3.1**	**2.5**	**0.2**	**3.8**	**2.5**	**-0.1**
Food and kindred products	1.2	0.8	-0.2	-0.6	1.8	0.3
Tobacco	-1.8	-1.9	-4.0	-4.3	1.7	-3.1
Textile mill products	0.6	0.0	-1.1	1.1	0.8	-1.4
Apparel and related products	0.2	0.3	-1.4	1.8	1.5	-2.1
Lumber and wood products	0.5	1.0	1.4	4.2	-0.3	1.5
Furniture and fixtures	2.1	1.6	2.4	3.5	2.4	1.2
Paper and allied products	1.8	1.2	-0.8	0.3	2.4	0.4
Printing and publishing	0.1	2.7	1.5	2.9	4.4	1.7
Chemical and allied products	3.6	0.4	0.1	1.8	2.6	-0.2
Petroleum refining	0.8	-0.01	-0.03	8.1	0.9	-2.5
Rubber and misc. plastic products	5.2	4.5	3.0	1.2	3.6	1.9
Leather and leather products	-4.1	-1.9	-4.5	1.1	-1.2	-5.6
Stone, clay, glass and concrete	0.6	-1.9	-0.1	2.3	-0.4	0.1
Primary metals	3.8	-0.6	-1.3	-0.4	-0.8	-1.9
Fabricated metal	1.7	1.5	1.7	6.0	1.5	0.1
Industrial and commercial machinery and computer equipment	8.2	1.6	1.2	10.5	3.9	-0.3
Electronic and other electrical equipment except computers	1.9	4.5	-0.5	4.1	5.7	0.1
Transportation equipment	4.6	6.8	2.4	0.7	1.7	0.5
Instruments and miscellaneous manufacturing	4.1	3.0	1.2	3.4	3.2	-0.5

The variation in the U.S. annual rates of growth of output by industry as shown in Table 1b is significantly higher than in Canada. Some industries experienced impressive gains in output. The highest growth rates were found in the industrial and commercial machinery and computer equipment in Canada (8.2%) and in the industrial and commercial machinery and computer equipment in the U.S. (10.5%). Instruments and miscellaneous manufacturing experienced relatively high growth in the two countries as well—4.1% in Canada and 3.4% in the United States. But after that, the list of the fastest growing industries generally differs in the two countries: rubber (5.2%), transportation (4.6%) and chemicals (3.6%) in Canada and petroleum refining (8.1%), electronics (4.1%), lumber (4.2%) and furniture (3.5%) for the U.S.

Output grew at a moderate pace, ranging from 1.7% to 2.1% annually, in fabricated metals, paper and allied products and electronic and other electrical equipment and furniture and fixtures in

Canada (apparel and related products, chemical and allied products, stone, clay, glass and concrete, and printing and publishing in the U.S., ranging from 1.8% to 2.9%).

In contrast, output growth was rather modest in food and kindred products (1.2%), petroleum refining (0.8%) and lumber and wood products (0.5%) in Canada and in rubber and miscellaneous plastic products (1.2%) and transportation equipment (0.7%) in the U.S. Declines in output occurred in leather and leather products and tobacco in Canada and food products and tobacco in the U.S.

IV. Methodology and Analysis of the Results

1. *Implementation of the Frontier Technique to Canada-U.S. Data*

The substantial diversity in the growth of output and inputs for sectors and across the industries provides a rich body of data from which we construct a best-practice North American frontier. The North-American frontier was implemented differently for the business sector and for the manufacturing sector. The business sector of each country is benchmarked against a frontier that is estimated using a single period's data on the business sector's output and inputs for both Canada and the U.S.

For the manufacturing sector, two different but complementary approaches were used.

First, data for each set of matched Canadian and U.S. manufacturing industries are used to build an overall North American manufacturing frontier each year. This is done by first constructing the individual frontier for all pairs of manufacturing industries (that is, lumber in Canada is compared to lumber in the U.S., steel against steel, etc.). These results are then aggregated to construct the estimates for the manufacturing sector of Canada and the U.S. The results derived from this approach are reported in Section 2.2.

Second, we also applied a pooled approach to the frontier productivity measurement in the manufacturing sector. Each manufacturing industry of a particular country in each period was benchmarked against the production frontier defined over the entire sample of the North American manufacturing industries for the same time period (that is, lumber is compared to all other industries in establishing the frontier). While this approach maximizes the sample of observations used in any year and so may lead to more robust results, it has the disadvantage of assuming that all manufacturing industries share the same technology in each period. The results of this technique are presented in Section 2.3.

It should be noted that the various approaches all include, to varying degrees, the assumption that Canada can adapt to the production technology used in the United States. At the aggregate level, the frontier technique implicitly assumes that the business sector can aspire to the same input-output combinations as the U.S. business sector, despite differences in industrial structure. The first technique that is used to derive the results for the manufacturing sector is less affected by

this assumption, because it uses individual industry pair-wise comparisons across the two countries. But it should be recognized that these comparisons are only done at the 2-digit level and there may be considerable differences in composition within industries at this aggregation level. The second of the two techniques used in the manufacturing sector that compares a particular manufacturing industry to all other manufacturing industries explicitly assumes that any industry can be expected to move toward the results of the 'best' industry, no matter what the latter may be.

At first glance, this assumption is restrictive. Lumber cannot be produced within the confines of a petroleum refinery. But we are examining industries at a high level of aggregation. At this level, it is appropriate to examine how aggregate amounts of capital and labour are transformed into output and whether one industry is more efficient in doing so than another. It is, of course, true that the aggregates will be affected by industrial structure. But industrial structure affects averages, and it is a relevant factor in determining the efficiency of an economy to many observers. Although the effects of industrial structure might be purged from the analysis, that would be throwing out an important cause of differences.

2. Analysis of the Results

2.1. Business Sector

The average values of the index and its components over the 1981-2000 period and different sub-periods are presented in Table 2. If the value of the Malmquist index in the subsequent tables or any of its components is less than one hundred, this denotes a deterioration in performance. Values higher than one hundred denote an improvement in performance. It is important to emphasize that these indicators capture performance relative to the best practice in the sample, where the best practice refers to the grand frontier across Canada and the U.S.

Looking at the bottom of Table 2, it can be seen that the Malmquist multifactor productivity for the Canadian business sector as a whole increased on average by 0.6 percent over the 1981-2000 period (0.88 percent for the U.S.).

Close to three-fifths of this 0.28 percentage point productivity growth gap in favour of the U.S. is attributable to a deterioration of Canadian technical efficiency compared to the U.S.—at an average annual rate of 0.16% per year over the 1981-2000 period. The remainder is due to a more rapid U.S. technical change (0.88% for the U.S. compared to 0.76% for Canada).

The value attached to the business sector's technical efficiency index reveals that the U.S. set the frontier of the North American business sector for the entire 1981-2000 period. Canada's business sector jointly set the efficiency frontier during the 1981-1987 period along with the U.S. Canada fell continuously behind the U.S. until 1992 when its technical efficiency stood at 90% of its U.S. counterpart. The technical efficiency of Canada's business sector trended up after 1993. By the end of the 1990s, it had recovered most of the lost ground experienced between the late 1980s and the early 1990s. In 2000, for the first time in more than a decade, Canada almost entirely recovered its 1988 technical efficiency performance (97.1%), but still remained below

the U.S., albeit by a small margin. While the analysis does not establish whether the recovery of Canada's efficiency should be attributed to cyclical forces or to changes in the underlying trend, it simply indicates that the recent productivity revival is due to an improvement in Canada's technical efficiency.

Table 2. Malmquist Multifactor Productivity Index and Its Components, 1981-2000: Business Sector

	Multifactor Productivity		Technical Change		Efficiency	
	Canada	U.S.	Canada	U.S.	Canada	U.S.
1981	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1982	96.7	96.6	96.7	96.6	100.0	100.0
1983	99.5	99.2	99.6	99.2	99.9	100.0
1984	103.9	103.0	103.9	103.0	100.0	100.0
1985	104.9	103.6	104.9	103.7	100.0	99.9
1986	104.0	105.1	104.0	105.2	100.0	100.0
1987	104.2	105.7	104.2	105.7	100.0	100.0
1988	104.0	107.0	105.1	107.1	98.9	100.0
1989	101.1	107.8	105.6	107.8	95.6	100.0
1990	98.3	107.9	105.8	107.9	93.1	100.0
1991	96.2	106.7	104.9	106.7	91.8	100.0
1992	98.4	109.6	108.9	109.6	90.4	100.0
1993	100.0	110.4	109.5	110.4	91.2	100.0
1994	103.6	112.0	111.0	112.0	93.3	100.0
1995	105.9	112.1	111.8	112.1	94.8	100.0
1996	105.7	113.8	112.1	113.8	94.3	100.0
1997	107.8	115.2	113.1	115.2	95.3	100.0
1998	108.9	116.1	113.6	116.1	95.9	100.0
1999	110.8	116.9	114.6	116.9	96.7	100.0
2000	112.1	118.2	115.5	118.2	97.1	100.0
1981-2000	**0.60**	**0.88**	**0.76**	**0.88**	**-0.16**	**0.00**
1981-1988	**0.56**	**0.98**	**0.72**	**0.98**	**-0.16**	**0.00**
1988-2000	**0.63**	**0.83**	**0.78**	**0.83**	**-0.15**	**0.00**
1988-1997	**0.41**	**0.82**	**0.82**	**0.82**	**-0.41**	**0.00**
1981-1997	**0.47**	**0.89**	**0.77**	**0.89**	**-0.30**	**0.00**

There are some differences in productivity performance in the two decades. Canada's business sector productivity growth gap during 1988-2000 was 0.2 percentage points, only half of that during 1981-1988 (0.42 percentage points). This is primarily the result of a lower gap in the technical change component (a decline from 0.26 percentage points to 0.05 percentage points).

2.2 Manufacturing Sector

We have explored the sources of Canada-U.S. multifactor productivity growth at the business sector level for the 1981-1997 period. It was demonstrated that the productivity growth gap in favour of the U.S. (0.42 percentage points) was largely attributable to a decline in Canadian efficiency.

We now turn our attention to industry data to trace aggregate multifactor productivity growth and its components to their sources in manufacturing industries. As was the case for the analysis of the business sectors of Canada and the U.S., individual manufacturing industries are benchmarked against a frontier based on a single-period pair of similar North American manufacturing industries. The remainder of this section summarizes our methodology and discusses the results.

Table 3.1: Malmquist Multifactor Productivity Index and Its Components, Manufacturing Sector: 1981-1997

	Multifactor Productivity Change		Technical Change		Efficiency Change	
	Canada	**U.S.**	**Canada**	**U.S.**	**Canada**	**U.S.**
Food and kindred products	100.7	97.0	106.8	107.0	94.3	90.7
Tobacco	102.1	98.0	108.3	110.0	94.3	89.0
Textile mill products	100.9	101.2	106.6	107.2	94.6	94.4
Apparel and related products	100.8	101.6	107.3	107.5	94.0	94.5
Lumber and wood products	99.5	104.1	106.5	106.3	93.5	98.0
Furniture and fixtures	100.1	101.3	106.1	106.9	94.4	94.7
Paper and allied products	102.0	98.5	107.6	106.9	94.7	92.1
Printing and publishing	97.4	99.2	106.4	106.9	91.6	92.8
Chemical and allied products	102.9	99.6	106.1	107.1	96.9	92.9
Petroleum refining	107.5	107.9	109.5	108.4	98.2	99.6
Rubber and misc. plastic products	101.9	97.8	107.6	106.9	94.7	91.5
Leather and leather products	100.3	106.2	108.7	109.6	92.3	96.9
Stone, clay, glass and concrete	102.5	102.4	106.4	106.3	96.3	96.2
Primary metals	105.5	101.0	107.5	107.9	98.1	93.7
Fabricated metal	100.3	104.9	106.6	107.2	94.0	97.9
Industrial and commercial machinery and computer equipment	108.7	109.5	107.4	109.4	101.3	100.0
Electronic and other electrical equipment except computers	102.5	102.5	109.8	109.6	93.4	93.5
Transportation equipment	101.9	99.1	109.4	106.8	93.1	92.8
Instruments and miscellaneous manufacturing	101.6	103.0	107.2	108.9	94.7	94.5
Manufacturing Sector (Average Annual Growth Rate in Percentage)	**2.0**	**2.7**	**7.5**	**7.6**	**-5.0**	**-4.5**

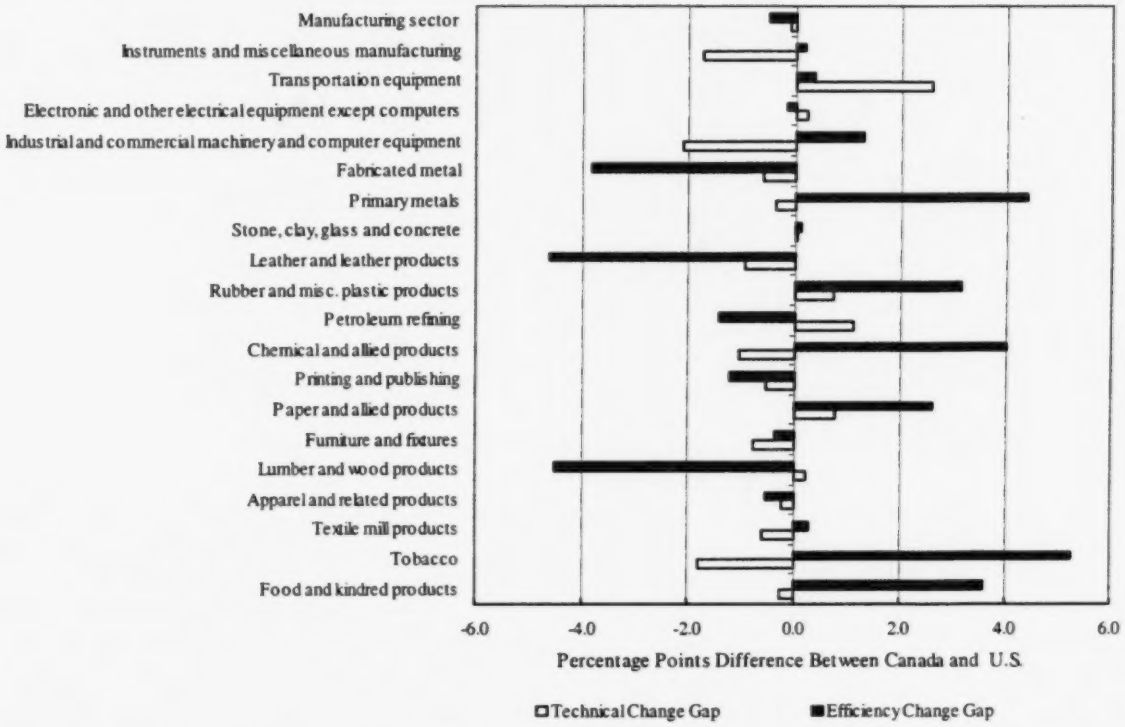
For the manufacturing sector, the results from the bottom of Table 3.1 indicate that Canada's productivity increased during the 1981-1997 period at an average annual growth rate of 2.0%, compared to 2.7% for its U.S. counterpart. This 0.7 percentage points gap is higher than the 0.42 percentage points observed for the business sector during the same period.

The gap in manufacturing productivity growth in favour of the U.S. during the 1981-1997 period, much like its business-sector counterpart, is attributable to the deterioration in Canada's efficiency. In contrast, both countries showed an almost identical pace of technical change over the same period (7.5% for Canada and 7.6% for the U.S.).

Productivity change is dominated by technical progress over the whole time period for the majority of industries in both countries. However, in almost all instances, technical change was accompanied by an opposite change in technical efficiency. This observation indicates that the concepts of technical change and efficiency change are not always positively related. This is because calculated measures of the technical change component reflect only the potential for technical change for a given industry. An outward shift in the frontier may leave non-innovators behind, i.e., their efficiency may fall when technical progress occurs. If technology improvements that are made by industry leaders diffuse only slowly to industry followers, the inefficiency of the latter increases. This finding suggests the need to distinguish technical or frontier change from the change in the extent to which firms approach the production frontier.

While technical change on average increased at about the same pace during the 1981-1997 period in both countries, there is a wide variation across industries (Figure 2). In transportation, petroleum refining, rubber and paper, Canada had an advantage over the United States. The opposite is the case for the rest of the industries, but the differences are small and along with the above mentioned industries where Canada had an advantage, average out to zero. On the other hand, Canada has an advantage in technical efficiency in primary metals, rubber, chemicals, paper, tobacco, and food products. But these advantages are more than offset by fabricated metals, leather, and lumber. The latter two industries actually experienced negative growth.

Figure 2. Gap in Technical Efficiency and Technical Change Between Canada and U.S. Manufacturing Industries, 1981-1997



Note: A negative sign indicates that the gap is in favour of the U.S.

Table 3.2: Malmquist Multifactor Productivity Index and Its Components, Manufacturing

	Multifactor Productivity Change		Technical Change		Efficiency Change	
	Canada	U.S.	Canada	U.S.	Canada	U.S.
			1981-1988			
Food and kindred products	101.6	101.2	108.2	108.4	93.9	93.4
Tobacco	103.9	90.4	110.3	110.8	94.2	81.6
Textile mill products	102.4	103.7	107.9	108.4	94.8	95.7
Apparel and related products	99.8	102.3	108.5	108.9	92.0	93.9
Lumber and wood products	102.3	107.9	108.1	107.9	94.7	100.0
Furniture and fixtures	98.7	101.0	107.2	108.0	92.1	93.4
Paper and allied products	100.2	102.1	108.4	108.1	92.5	94.5
Printing and publishing	100.0	97.8	107.6	108.3	93.0	90.4
Chemical and allied products	105.7	105.1	107.3	108.8	98.5	96.7
Petroleum refining	109.4	110.3	111.1	110.3	98.6	100.0
Rubber and misc. plastic products	101.5	103.1	109.1	107.9	93.0	95.5
Leather and leather products	101.1	103.6	109.5	110.7	92.3	93.5
Stone, clay, glass and concrete	105.7	103.6	108.0	107.6	97.9	96.2
Primary metals	104.3	99.8	108.7	110.5	95.9	90.3
Fabricated metal	101.4	104.5	108.1	108.9	93.8	96.0
Industrial and commercial machinery and computer equipment	104.9	107.3	110.1	110.4	95.3	97.2
Electronic and other electrical equipment except computers	101.0	105.2	110.9	110.1	91.1	95.6
Transportation equipment	101.4	105.1	108.9	108.2	93.1	97.1
Instruments and miscellaneous manufacturing	105.0	104.8	109.0	109.8	96.3	95.4
Manufacturing Sector (Average Annual Growth Rate (%))	**2.6**	**3.8**	**8.6**	**9.0**	**-5.4**	**-4.7**
			1988-1997			
Food and kindred products	100.0	93.7	105.5	105.9	94.7	88.5
Tobacco	101.3	103.8	106.8	109.4	94.9	94.9
Textile mill products	99.4	99.8	105.3	106.1	94.4	94.0
Apparel and related products	100.5	101.3	106.1	106.4	94.7	95.2
Lumber and wood products	97.5	101.2	104.8	104.6	93.0	96.8
Furniture and fixtures	101.1	101.4	105.0	105.8	96.2	95.9
Paper and allied products	102.0	96.2	106.9	105.8	95.4	90.9
Printing and publishing	95.8	99.8	105.2	105.8	91.1	94.3
Chemical and allied products	101.4	96.3	104.9	105.9	96.7	91.0
Petroleum refining	106.6	106.3	108.3	107.0	98.4	99.4
Rubber and misc. plastic products	101.7	94.5	106.5	105.9	95.5	89.2
Leather and leather products	99.4	108.0	108.0	108.7	92.1	99.3
Stone, clay, glass and concrete	100.1	101.8	104.7	105.0	95.5	96.9
Primary metals	105.5	102.4	106.5	105.9	99.0	96.7
Fabricated metal	99.8	106.5	105.3	105.9	94.8	100.6
Industrial and commercial machinery and computer equipment	109.8	110.8	106.1	108.7	103.5	101.9
Electronic and other electrical equipment except computers	103.0	100.8	109.0	109.1	94.5	92.4
Transportation equipment	103.2	95.7	109.5	105.5	94.2	90.7
Instruments and miscellaneous manufacturing	101.7	102.3	105.9	108.2	96.0	94.6
Manufacturing Sector (Average Annual Growth Rate (%))	**1.5**	**1.8**	**6.7**	**6.5**	**-4.7**	**-4.4**

2.3 Robustness of the Results and Extension of the Analysis

Given that the methodology used above relies on a pair of observations for each time period for the business sector and for the manufacturing industries, it is important to assess the robustness of the results using the pooled approach of measuring the frontier. This approach uses all manufacturing industries of both Canada and U.S. in each time period to construct the benchmark frontier. Both approaches yield consistent results for the whole manufacturing sector and its constituent industries. Under the pooled approach, the productivity growth gap in favour of the U.S. in manufacturing is lower (0.5 percentage points compared with 0.7 percent points under the approach used above) and it is still driven by the Canadian decline in technical efficiency. Although there are some differences in terms of order of magnitudes between the two approaches at the industry level, the results are consistent, as evidenced by a high rank correlation (0.89).

We can further exploit the pooling approach to highlight some interesting issues at the industry level for the North American manufacturing sector. For both Canada and the U.S., efficiency declined (albeit more so for Canada than the U.S.) during each of the sub-periods 1981-1988 and 1988-1997 (see Table 3.2). This suggests that most of the industries were getting further away from the North American frontier established by the industries reported in Table 4. It is also important to note that since the mid-1990s, there was a major change in the nature of the industries that established the North American frontier. Between 1981 and 1995, the frontier was essentially established by Canadian and U.S. industries that had close ties with the primary sector, replaced thereafter by the information technology producing industries.

Table 4. Canadian and U.S. Industries that Set the North American Efficiency Frontier of the Manufacturing Sector

	Canada	U.S.
1982	-	Transportation equipment
1983	Lumber and wood products, Transportation equipment	Petroleum refining
1984	Primary metals, Transportation equipment	Transportation equipment, Petroleum refining
1985	Lumber and wood products	Petroleum refining
1986	Lumber and wood products, Primary metals	Lumber and wood products
1987	-	Lumber and wood products, Petroleum refining
1988	-	Lumber and wood products, Petroleum refining
1989	Petroleum refining	Lumber and wood products, Petroleum refining
1990	Petroleum refining	Petroleum refining
1991	Petroleum refining	Petroleum refining
1992	Petroleum refining	Petroleum refining
1993	Primary metals	Petroleum refining
1994	Industrial and commercial machinery and computer equipment	Petroleum refining
1995	Industrial and commercial machinery and computer equipment	Industrial and commercial machinery and computer equipment
1996	Industrial and commercial machinery and computer equipment	Industrial and commercial machinery and computer equipment
1997	Industrial and commercial machinery and computer equipment	Industrial and commercial machinery and computer equipment

An equally important finding is the significant change both in the distribution of technical efficiency within the North American sector and in its dispersion. Figures 3 to 5 show a histogram of the level of technical efficiency for the 38 industries in 1982, 1988 and 1997. In 1982, all of the manufacturing industries had an efficiency level higher than 0.70, compared to 17 industries in 1988 (or 45% of all manufacturing industries) and only 7 industries (or 18%) in 1997. Out of these 17 industries in 1988, only 6 were Canadian (35%), compared to 3 out of 7 (43%) in 1997.

We draw two conclusions: First, there is a change in the nature of the skewness of the technical efficiency distribution over the years as evidenced by the change in the median technical efficiency level from 0.86 in 1982 to 0.68 in 1988 and then to 0.40 in 1997. Second, a large proportion of Canadian industries improved their efficiency during the mid-1990s. In 1997, for example, one out of two of the least technically efficient North American industries were Canadian, a sharp decline compared to 1988 when two out of the three most inefficient industries were Canadian. Nevertheless, this was still high in comparison to the early 1980s.

Figure 3. The Distribution of Technical Efficiency Levels Within the North American Manufacturing Sector, 1982

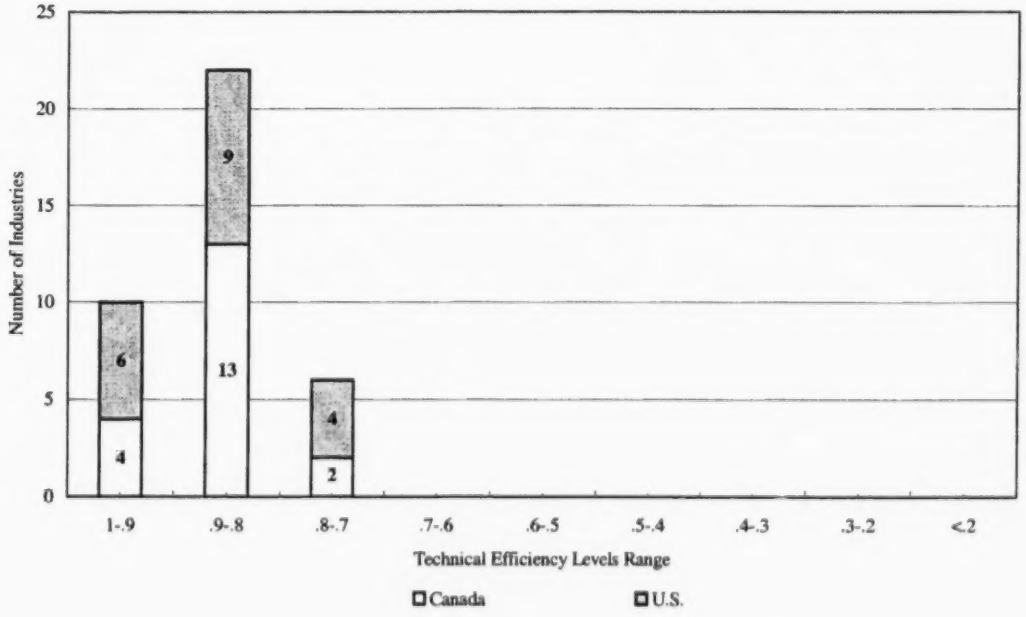


Figure 4. The Distribution of Technical Efficiency Levels Within the North American Manufacturing Sector, 1988

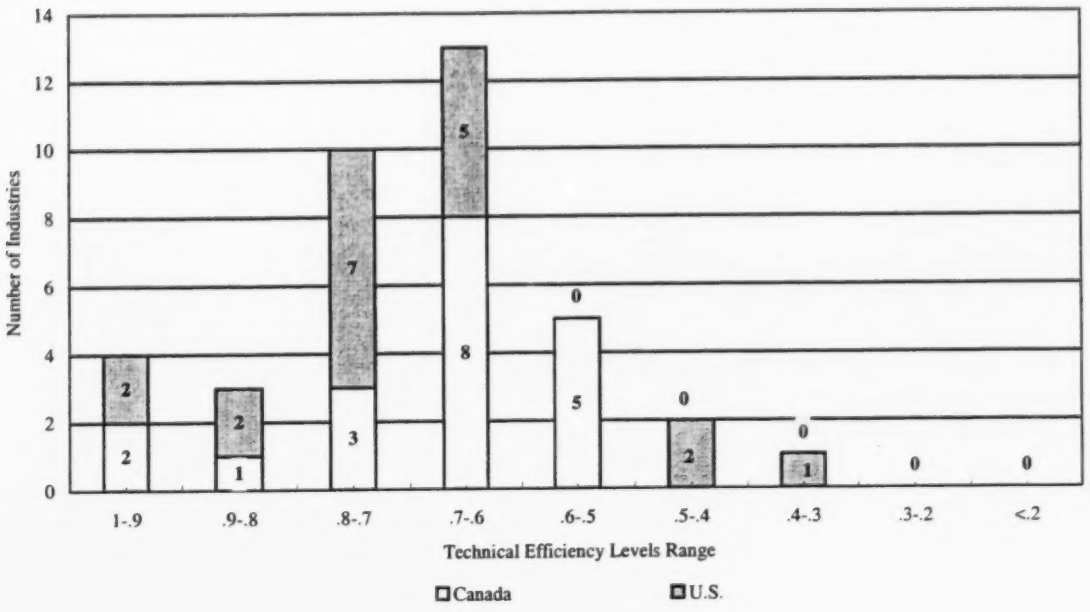


Figure 5. The Distribution of Technical Efficiency Levels Within the North American Manufacturing Sector, 1997

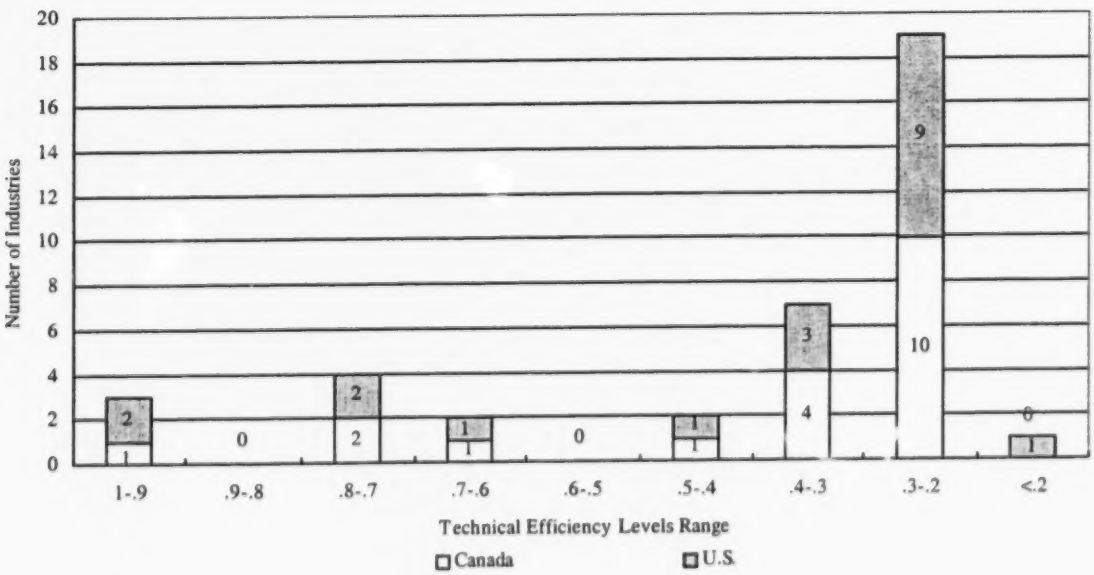
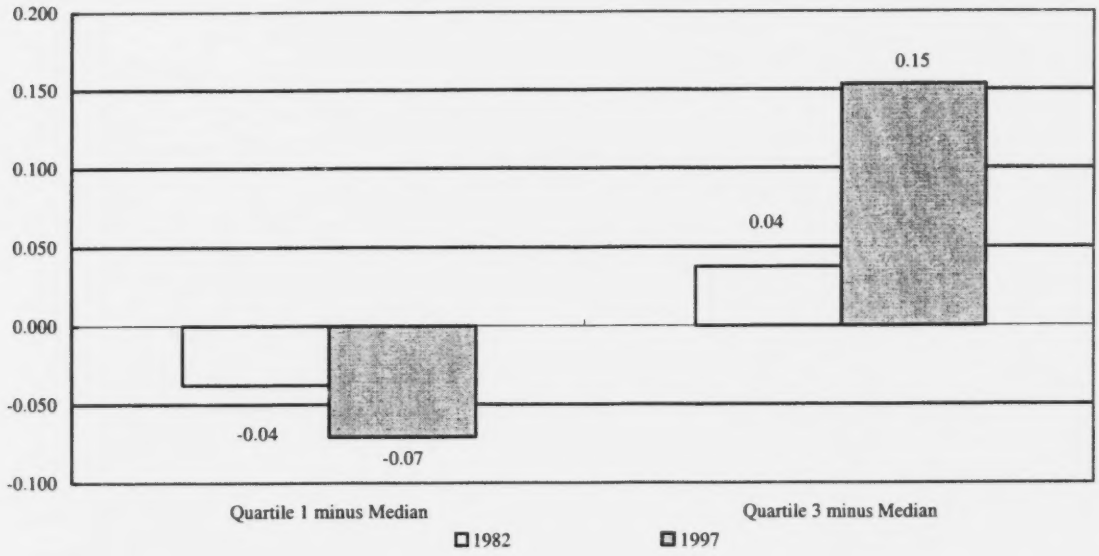


Figure 6. Interquartiles of Technical Efficiency Levels: North American Manufacturing Sector



The fact that the median of the level of technical efficiency declined sharply between 1982 and 1997 does not tell us whether the efficient industries were getting even more efficient and/or the least efficient saw their efficiency worsening over the years. The examination of the differences between the quartiles helps to answer this question. Figure 6 shows that the difference between the top quartile and the median increased by 0.22 percentage points between 1982 and 1997, compared with 0.08 percentage points between the bottom quartile and the median for the same period. Over the 1982-1997 period, there was a greater tendency for the efficient industries to get even more efficient than there was for the inefficient to decline.[8]

V. Comparison between Frontier and Standard Approach to Productivity Measurement

The results that have been presented herein make use of a methodology that is similar but not identical to that generally employed in productivity analysis. We therefore compare the results obtained under the frontier approach to productivity measurement to those based on the standard growth accounting framework. The standard multifactor factor productivity measure is determined simply as a residual difference between the growth in output and the growth in labour and capital. Therefore, it encompasses the effect of all influences on the efficiency with which

[8] Using microdata for the Canadian manufacturing sector over the 1973-1997 period, Braun and Townsend (2002) reached the same conclusion regarding the decline in efficiency over time in the Canadian manufacturing sector. Their work builds on Baldwin's (1992) definition of industry efficiency, defined as labour productivity in the industry over labour productivity in the most productive plants.

factors of production are employed. By construction, it is not simply a measure of the rate of technological progress.

The multifactor productivity average growth rate estimates under the standard growth accounting approach and the Malmquist approach are presented in Table 5. For the whole manufacturing sector, both measures of productivity reflect a gap in favour of the U.S., albeit higher under the frontier approach compared to the growth-accounting approach. Similarly, the frontier approach shows a higher variation (measured by as a standard deviation) across industries than the growth accounting approach from one country to another 1.23% for the frontier approach vs. 1.12% for the growth-accounting approach for Canada; 1.52 vs. 1.06 for the U.S. But both approaches yield consistent results at the industry level as evidenced by a high rank correlation (0.73 for Canada and 0.82 for the U.S.). For both countries, the top three industries in terms of productivity performance are almost identical under both approaches. This is less so for the bottom three industries.

Table 5: Multifactor Productivity Growth, 1981-1997 (Average Annual Growth Rate in Percentage)

	Malmquist		Growth Accounting	
	Canada	**U.S.**	**Canada**	**U.S.**
Food and kindred products	0.7	-3.0	1.2	-2.0
Tobacco	2.1	-2.0	-1.7	-4.7
Textile mill products	0.9	1.2	1.2	1.1
Apparel and related products	0.8	1.6	0.2	1.7
Lumber and wood products	-0.5	4.1	1.4	3.9
Furniture and fixtures	0.1	1.3	3.6	3.2
Paper and allied products	2.0	-1.5	1.4	0.1
Printing and publishing	-2.6	-0.8	-0.1	2.5
Chemical and allied products	2.9	-0.4	3.7	0.8
Petroleum refining	7.5	7.9	0.8	6.5
Rubber and misc. plastic products	1.9	-2.2	5.3	0.7
Leather and leather products	0.3	6.2	-4.0	1.0
Stone, clay, glass and concrete	2.5	2.4	1.1	2.1
Primary metals	5.5	1.0	5.1	-0.9
Fabricated metal	0.3	4.9	2.1	5.6
Industrial and commercial machinery and computer equipment	8.7	9.5	5.3	9.8
Electronic and other electrical equipment except computers	2.5	2.5	1.5	2.7
Transportation equipment	1.9	-0.9	4.5	0.2
Instruments and miscellaneous manufacturing	1.6	3.0	4.0	3.2
Manufacturing Sector	**2.0**	**2.7**	**2.7**	**3.0**

Important quantitative differences exist in some industries such as tobacco, and industrial and commercial machinery and computer equipment in Canada (leather and leather products and textile mill products for the U.S.). In all these industries, the Malmquist index produces a higher measure of productivity performance than the growth accounting approach and vice versa for furniture and fixture and transportation equipment (rubber and miscellaneous plastic products and furniture and fixtures for the U.S.).

VI. Conclusion

This paper uses the Malmquist index to measure multifactor productivity growth and decomposes it into an efficiency change and a technical change component. Both the Malmquist productivity index and the growth accounting approach provide similar results insofar as the Canada-U.S. productivity gap is concerned. However, the Malmquist index provides extra insight as it traces Canada's efficiency deterioration as the source of the gap not only for the business sector level but also for its constituent manufacturing and non-manufacturing sectors.

The second major result reached by this paper is the dramatic shift in the distribution of technical efficiency within the North-American manufacturing sector. The median efficiency dropped from 0.86 in 1982 to 0.68 in 1988 and to 0.40 in 1997. Similarly, all of the 38 manufacturing industries displayed an efficiency level above 0.70 in 1982, compared to only 17 in 1988, and only 7 in 1997. Out of these 17 industries in 1988, only 6 were Canadian (35%), compared to 3 out of 7 in 1997 (43%).

In light of these findings, we conclude that recent technical change has had differential effects across industries. In a sense, this is not a new conclusion. It is well known that productivity growth over the last two decades has been highest in the two industries that are at the heart of the micro-chip revolution. This paper simply quantifies the effect of this difference. What will become critical to overall progress is the extent to which the lagging industries begin to catch up as they incorporate the new information and communication technologies into their production process.

While these findings address the question that we posed at the beginning of the paper as to the causes of the increase in the productivity gap between Canada and the United States, they are only suggestive. In drawing conclusions, readers should take into account several caveats that are outlined below.

The first is the issue of the precision of measurement inherent in the Malmquist index and other productivity measures. We have emphasized (see Baldwin and Harchaoui, 2001) that productivity estimates are only point estimates that should be accompanied by a confidence interval. The confidence interval is required because data that are used for the calculation are subject to uncertainty. And some of the data are subject to revisions.

We argue that it is not easy to define the confidence interval that should be used for multifactor productivity estimates; but as a guide, we suggest that it could range from 0.2 to 0.4 percentage points. Many of the differences between Canada and the United States reported in this paper fall within these ranges or close to them. Therefore, the reader should treat the results presented herein as indicative of possibilities that need to be investigated with alternate datasets and alternate methodologies. Replication is required before strong conclusions can be drawn.

A second issue that needs to be addressed forthrightly is the very notion of inefficiency. In this paper, we postulate that firms or industries can be off the production frontier and that some of the increase in productivity that is normally measured arises from moving production toward the frontier.

The reader should recognize that not all economists accept the notion that some firms in an industry can be inefficient. And those who do may not be comfortable with the notion that an industry can be defined as inefficient based on the input/output combinations that exist in other industries. It is all too easy to go from the argument that petroleum plants cannot produce steel to the argument that production technology across industries is so different that one industry should not try to emulate the other in terms of how it transforms labour and capital into outputs.

While we accept this concern, we believe the type of exercise presented herein is useful to those who compare the ability of different economies to move their resources from less productive to more productive uses. Many observers have noted that one of the reasons that the American economy has been more productive than the Canadian is that the United States has expanded its information technology sector faster than Canada has. That observation and the associated concern essentially revolve around the belief that an economy's ability to take advantage of new industries is as important as its ability to produce what it already produces in the most efficient fashion.

There is another related reason that the frontier procedure that is used here yields useful results even in the face of differences in industrial structure. The procedure used here relies on measuring change. We are interested in asking whether the factors that influence efficiency are changing more or less quickly across countries. It is interesting to ask whether changes associated with the information technology revolution are moving industries forward at different paces. Removing the effect of industrial structure would be to ignore the fact that industrial revolutions affect industries differently. And the progress that is made by a country depends on its ability to reallocate resources to their most productive uses.

Appendix: The Malmquist Index

This appendix presents in more technical detail the index used in this paper to measure multifactor productivity growth. The index is defined in terms of output distance functions. These functions measure the ray distance between a given output vector and maximal potential output. This maximal output belongs to the boundary of the reference or frontier technology. We begin by explaining how the frontier is constructed from data.

We illustrate this approach using two sectors $i = 1,2$ at each time period $t = 1,2,...,T$ that use $x_i^t = \left(x_{K,i}^t, x_{L,i}^t\right) \in R_+$ inputs to produce a single output $y_i^t \in R_+$. From a pair of observations in each time period an overall sector of industry production technology is constructed for each time period. Rather than specifying and estimating a specific production function we choose to construct the technologies non-parametrically using activity analysis. This technique is also known as Data Envelopment Analysis (see Charnes *et al.* (1978)).

For a given period t, and given the observations for each of the two sectors $(x_{K,1}^t, x_{L,1}^t, y_1^t)$ and $(x_{K,2}^t, x_{L,2}^t, y_2^t)$, the frontier technology for period t is constructed as

$$S_{CRS}^t = \left\{\left(x^t, y^t\right) : z_1^t y_1^t + z_2^t y_2^t \geq y^t, z_1^t x_{K,1}^t + z_2^t x_{K,2}^t \leq x_K^t, z_1^t x_{L,1}^t + z_2^t x_{L,2}^t \leq x_L^t, z_1^t, z_2^t \geq 0\right\}. \qquad \text{(A.1)}$$

This formulation admits constant returns to scale (CRS) and free disposability of inputs and output. Output levels may be less than or equal to linear combinations of observed output; that is, output is freely disposable. Input levels may be greater or equal to linear combinations of observed input; that is, producers may freely dispose of inputs as well. The technology, and consequently the associated distance functions, are independent of measurement units and, although CRS is imposed in each period, each period is allowed to have a completely different CRS technology.

The intensity variables z_1^t and z_2^t indicate at what intensity a particular activity may be employed in the optimal production. In the CRS technology they are only required to be non-negative allowing the technology to form a cone of the data. If we add the constraint that restrict z_1^t and z_2^t to sum to one, the technology that would result is a convex combination of observed inputs and outputs, i.e. a variable returns to scale technology (VRS).

The output distance function for period t may be defined as (see Shephard (1970) or Färe (1988) for details):

$$\begin{aligned} D_{o,CRS}^t\left(x_i^t, y_i^t\right) &= \min\left\{\theta : \left(x_i^t, \frac{y_i^t}{\theta}\right) \in S_{CRS}^t\right\} \\ &= \left[\max\left\{\theta : \left(x_i^t, \theta y_i^t\right) \in S_{CRS}^t\right\}\right]^{-1} \qquad \text{(A.2)} \\ &= \left[F_o^t\left(x_i^t, y_i^t\right)\right]^{-1}. \end{aligned}$$

In (A.2), $F_o^t(\cdot)$ denotes the Farrell (1957) output-oriented measure of technical efficiency. Thus (A.2) shows that the distance function and the Farrell technical efficiency measure are reciprocals. This fact is important, since the productivity index is decomposed into two components: one measuring efficiency change and another measuring technical change. This index is known as the Malmquist index. It was introduced as a theoretical index by Caves, Christensen and Diewert (1982) (CCD), who named it the (output-based) Malmquist productivity index after Sten Malmquist who had earlier shown how to construct quantity indexes as ratios of distance functions (see Malmquist (1953)).

Following Färe *et al.* (1994), the Malmquist productivity change index is defined as:

$$M_o(x_i^{t+1}, y_i^{t+1}, x_i^t, y_i^t) = \left[\frac{D_{o,CRS}^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_{o,CRS}^t(x_i^t, y_i^t)} \cdot \frac{D_{o,CRS}^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_{o,CRS}^{t+1}(x_i^t, y_i^t)} \right]^{\frac{1}{2}}. \tag{A.3}$$

This index is the geometric mean of two Malmquist productivity indexes as defined by Caves *et al.* (1982) (CCD), namely:

$$M_{CCD}^t = \frac{D_{o,CRS}^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_{o,CRS}^t(x_i^t, y_i^t)} \tag{A.4}$$

and

$$M_{CCD}^{t+1} = \frac{D_{o,CRS}^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_{o,CRS}^{t+1}(x_i^t, y_i^t)}. \tag{A.5}$$

An important feature of the Färe *et al.* (1994) version of the Malmquist index (A.3) is that it can be decomposed into two independent components, that is: efficiency change $\left(ECH_i^t\right)$ and technical change (TCH):

$$ECH_i^t = \frac{D_{o,CRS}^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_{o,CRS}^t(x_i^t, y_i^t)} \tag{A.6}$$

$$TCH_i^t = \left[\frac{D_{o,CRS}^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_{o,CRS}^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})} \cdot \frac{D_{o,CRS}^t(x_i^t, y_i^t)}{D_{o,CRS}^{t+1}(x_i^t, y_i^t)} \right]^{\frac{1}{2}}. \tag{A.7}$$

Note that (A.6) is equivalent to the ratio of Farrell technical efficiency in period t divided by Farrell technical efficiency in period $t+1$, whereas (A.7) is the geometric mean of the shift in technology as observed at the input level x^{t+1} and the shift in technology evaluated at x^t. Thus (A.3) can be written as:

$$M_o(i,t,t+1) = MALM_i^t = ECH_i^t \times TCH_i^t \tag{A.8}$$

and for each industry i, time paths of productivity, efficiency and technical change can be calculated.

References

Baldwin, J. R. 1992. 'Industry Efficiency and Plant Turnover in the Canadian Manufacturing Sector,' in R. E. Caves (Ed.), *Industrial Efficiency in Six Nations*, Chapter 17, MIT Press.

Baldwin, J.R. and T. Harchaoui. 2001. "The Precision of Productivity Measures," in Baldwin, J.R. *et al.*: *Productivity Growth in Canada*, Statistics Canada, Catalogue No. 15-204-XPE, Ottawa. ch. 3

Baldwin, J.R. and T. Harchaoui (eds). 2003. *Aggregate Productivity Growth 2002*. Catalogue No. 15-204. Ottawa: Statistics Canada.

Braun, N. and J. Townsend. 2002. 'Efficiency and Dynamics in Canadian Manufacturing,' unpublished paper. MicroEconomics Analysis Division, Statistics Canada.

Caves, D., L. Christensen, and W.E. Diewert. 1982. 'The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output and Productivity,' *Econometrica* 50: 1390-414.

Charnes, A., W.W. Cooper and E. Rhodes. 1978. 'Measuring the Efficiency of Decision Making Units,' *European Journal of Operational Research* 2: 429-44.

Domar, E. 1961. 'On the Measurement of Technical Change,' *Economic Journal* 71: 709-729.

Färe, R. 1988. *Fundamentals of Production Theory, Springer-Verlag*, Heidelberg.

Färe, R., S. Grosskopf, B. Lindgren and P. Roots. 1989. 'Productivity Developments in Swedish Hospitals; A Malmquist Output Index Approach,' Discussion Paper No. 89-3, Southern Illinois University.

Färe, R., S. Grosskopf, M. Norris, and Z. Zhang. 1994. 'Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrialized Countries,' *American Economic Review* 84: 66-83.

Farrell, M.J. 1957. 'The Measurement of Productive Efficiency,' *Journal of Royal Statistical Society*, Series A, General, 120: 253-81.

Malmquist, S. 1953. 'Index Numbers and Indifference Curves,' *Trabajos de Estatistica* 4: 209-42.

OECD 2001. OECD Productivity Manual: A Guide to the Measurement of Industry-Level and Aggregate Productivity Growth, Statistics Directorate, Directorate for Science, Technology and Industry, p. 149.

Shephard, R.W. 1970. *Theory of Cost and Production Functions*, Princeton University Press

ECONOMIC ANALYSIS (EA)
RESEARCH PAPER SERIES

No. 001 *A Comparison of Canada-U.S. Economic Growth in the Information Age, 1981-2000: The Importance of Investment in Information and Communication Technologies,* ***Philip Armstrong, Tarek M. Harchaoui, Chris Jackson and Faouzi Tarkhani (March 1, 2002)***

No. 002 *Purchasing Power Parity: A Canada/U.S. Exploration,* ***Beiling Yan (May 2002)***

No. 003 *The Trend to Smaller Producers in Manufacturing: A Canada/U.S. Comparison,* ***John Baldwin, Ron S. Jarmin, Jianmin Tang (May 2002)***

No. 004 *Foreign Affiliate Trade Statistics – 1999: How Goods and Services are Delivered in International Markets,* ***Colleen Cardillo (April 2002)***

No. 005 *(forthcoming)*

No. 006 *(forthcoming)*

No. 007 *Accounting for Greenhouse Gases in the Standard Productivity Framework,* ***Tarek Harchaoui, Dmitry Kabrelyan and Rob Smith (November 1, 2002)***

No. 008 *(forthcoming)*

No. 009 *Assessing the Impact of Greenhouse Gas Emissions on Canada's Productivity Growth, 1981-1996: An Expermental Approach,* ***Tarek M. Harchaoui and Pierre Lasserre (November 1, 2002)***

No. 010 *A Frontier Approach to Canada-U.S. Multifactor Productivity Performance,* ***Kaïs Dachraoui, Tarek M. Harchaoui (April 3, 2003))***

Analyse Économique

Documents de recherche

Une approche frontière de la productivité multifactorielle au Canada et aux États-Unis

par Kaïs Dachraoui et Tarek M. Harchaoui

N° 010

Statistics Canada Statistique Canada

Canada

SÉRIE DE DOCUMENTS DE RECHERCHE SUR L'ANALYSE ÉCONOMIQUE

La série de documents de recherche sur l'analyse économique permet de faire connaître les travaux de recherche effectués par le personnel du Secteur des études analytiques et des comptes nationaux, les boursiers invités et les universitaires associés. La série de documents de recherche a pour but de favoriser la discussion sur un éventail de sujets tels que les répercussions de la nouvelle économie, les questions de productivité, la rentabilité des entreprises, l'utilisation de la technologie, l'incidence du financement sur la croissance des entreprises, les fonctions de dépréciation, l'utilisation de comptes satellites, les taux d'épargne, le crédit-bail, la dynamique des entreprises, les estimations hédoniques, les tendances en matière de diversification et en matière d'investissements, les différences liées au rendement des petites et des grandes entreprises ou des entreprises nationales et multinationales ainsi que les estimations relatives à la parité du pouvoir d'achat. Les lecteurs de la série sont encouragés à communiquer avec les auteurs pour leur faire part de leurs commentaires, critiques et suggestions.

Les documents sont diffusés principalement au moyen d'Internet. Ils peuvent être téléchargés gratuitement sur Internet, à www.statcan.ca. Les documents faisant partie de la série sont diffusés dans les bureaux régionaux de Statistique Canada et aux coordonnateurs statistiques provinciaux.

Tous les documents de recherche de la Série d'analyse économique, passent à travers un processus d'évaluation des pairs et institutionnel, afin de s'assurer de leur conformité au mandat confié par le gouvernement à Statistique Canada en tant qu'agence statistique et de leur pleine adhésion à des normes de bonne pratique professionnelle, partagées par la majorité.

Les documents de cette série comprennent souvent des résultats issus d'analyses statistiques multivariées ou d'autres techniques statistiques. Il faut l'admettre, les conclusions de ces analyses sont sujettes à des incertitudes dans les estimations énoncées.

Le niveau d'incertitude dépendra de plusieurs facteurs : de la nature de la forme fonctionnelle de l'analyse multivariée utilisée; de la technique économétrique employée, de la pertinence des hypothèses statistiques sous-jacentes au modèle ou à la technique; de la représentativité des variables prises en compte dans l'analyse; et de la précision des données employées. Le processus de la revue des pairs vise à garantir que les articles dans les séries correspondent aux normes établies afin de minimiser les problèmes dans chacun de ces domaines.

Comité de révision des publications
Direction des études analytiques, Statistique Canada
18e étage, Immeuble R.-H. Coats
Ottawa, Ontario, K1A 0T6
(613) 951-1804

Une approche frontière de la productivité multifactorielle au Canada et aux États-Unis

par

Kaïs Dachraoui
et
Tarek M. Harchaoui*

11F0027 N° 010
ISSN : 1703-0412
ISBN : 0-662-88152-4

Division de l'analyse micro-économique
18ième étage, Immeuble R.H. Coats
Ottawa, K1A 0T6
Statistique Canada
Télécopieur: (613) 951-5403
* (613) 951-9856
Courriel : harctar@statcan.ca

Le 3 avril 2003

Le nom des auteurs est inscrit selon l'ordre alphabétique.

Ce document reflète les opinions des auteurs uniquement et non celles de Statistique Canada.

Nous remercions John Baldwin, France Filion et deux arbitres anonymes pour leurs précieux commentaires et Faouzi Tarkhani pour son aide fort utile aux fins de l'élaboration des données. Une version antérieure de cet article a été présentée au congrès de 2002 de l'Association canadienne d'économique tenue à Calgary.

Also available in English

Table des matières

RÉSUMÉ ..... **IV**

SOMMAIRE ..... **V**

I. INTRODUCTION **1**

II. MESURE DE LA PRODUCTIVITÉ : UNE APPROCHE FRONTIÈRE **2**

III. SOURCES DES DONNÉES ET STATISTIQUES DESCRIPTIVES **6**

IV. MÉTHODOLOGIE ET ANALYSE DES RÉSULTATS **10**

1. APPLICATION DE LA MÉTHODE FRONTIÈRE AUX DONNÉES SUR LE CANADA ET LES ÉTATS-UNIS 10
2. ANALYSE DES RÉSULTATS 12
   2.1 Secteur des entreprises *12*
   2.2 Secteur de la fabrication *13*
   2.3 Robustesse des résultats et prolongement de l'analyse *16*

V. COMPARAISON ENTRE LA MESURE FRONTIÈRE ET LA MESURE DE COMPTABILITÉ STANDARD **21**

VI. CONCLUSION **22**

ANNEXE : L'INDICE DE MALMQUIST **25**

BIBLIOGRAPHIE **28**

Résumé

Même si une bonne partie du récent débat sur la productivité au Canada a traité de l'écart de productivité entre le Canada et les États-Unis, on a peu cherché à en déterminer et à en quantifier les sources. Dans le présent document, nous visons à combler ces deux lacunes en adoptant une approche frontière de la mesure de la productivité. Au moyen d'une méthode non-paramétrique et à partir des données sur les deux pays, nous construisons une frontière nord-américaine pour les secteurs des entreprises et de la fabrication. Nous comparons ensuite chaque secteur ou branche d'activité à cette frontière. Dans quelle mesure chaque secteur ou industrie de n'importe quel pays se rapproche de la frontière nord-américaine est reconnue comme étant de l'efficience technique. Elle résulte du rattrapage de la technologie de production de la meilleure pratique. On appelle « progrès technologique » la mesure avec laquelle la frontière nord-américaine se déplace pour une combinaison d'intrants observés pour chaque secteur ou branche d'activité. Celui-ci résulte du type d'innovation qui permet au pays de disposer de la meilleure pratique technologique. La productivité qui découle de ces deux changements permet d'établir une version frontière de la croissance de la productivité multifactorielle dérivée à partir de l'indice de Malmquist de la croissance de la productivité multifactorielle.

Nous en sommes arrivés à la conclusion que le « problème » de productivité qu'a connu le Canada durant la période allant de 1988 à 2000, que ce soit au niveau du secteur des entreprises ou au niveau du secteur de la fabrication, est attribuable presque entièrement à la diminution de son efficience technique, une indication que les entreprises utilisent une technologie de production qui les positionne derrière les meneurs. Les résultats laissent aussi supposer que la hausse récente de la productivité au Canada au cours des années 1995 à 2000 est attribuable à la reprise remarquable de cette efficience. Nous constatons en outre, qu'au cours de la période 1981 à 1997, la dispersion de la distribution de l'efficience technique entre les industries nord-américaines de la fabrication a augmenté de façon très marquée.

Mots clés : productivité, efficience, progrès technologique , indice de Malmquist.

Sommaire

Cette étude explore une mesure alternative et expérimentale de la croissance de la productivité multifactorielle basée sur la frontière de production. Il s'agit d'une méthode d'évaluation comparative des unités observées (entreprises ou branches d'activités) par rapport à une frontière estimée de production représentant les meilleures pratiques. Cette frontière précise la quantité maximale de produits, ou extrants, que l'on peut obtenir à partir de diverses combinaisons d'intrants. L'évaluation comparative de chaque unité par rapport à la frontière efficiente donne une mesure de l'efficience de l'unité relativement à la meilleure pratique. Cette mesure, basée sur une notion de distance par rapport à la frontière de production estimée, varie de zéro (absence de production) à un (production maximale permise par la technologie sur la frontière).

Cette étude utilise l'indice de Malmquist pour calculer une mesure du changement de productivité qui prend en compte, à la fois, les mouvements de la frontière de production et dans quelle mesure les entreprises se rapprochent de cette frontière. La mesure avec laquelle un secteur ou une branche d'activité d'un pays se rapproche de la frontière de production nord-américaine est appelée efficience technique et les améliorations de l'efficience ont lieu quand les firmes font du rattrapage par rapport à la technologie de la meilleure pratique. Les changements de la frontière résultent des innovations qui mènent à l'adoption au Canada de la technologie de la meilleure pratique. Le déplacement de la frontière de production nord-américaine à une combinaison donnée d'intrants de chaque secteur ou industrie est appelé « progrès technologique »; il résulte de l'introduction d'innovations qui permettent d'utiliser les technologie de la meilleure pratique. Les changements qui font que les entreprises se rapprochent de la frontière de production de la meilleure pratique ont lieu quand les technologies avancées sont diffusées par les meneurs vers les suiveurs au sein d'une industrie ou d'une industrie à l'autre.

La productivité qui résulte de ces deux composantes donne une version basée sur la frontière de production de la croissance de la productivité multifactorielle, c'est-à-dire l'indice de Malmquist de la croissance de la productivité multifactorielle. Contrairement aux indices habituellement utilisés en analyse de la productivité, l'indice de Malmquist a la propriété de permettre de faire la distinction entre le changement d'efficience et le progrès technologique. Cette distinction est importante, car la composante dite d'innovation reflète uniquement la possibilité d'un progrès technologique pour une branche d'activité donnée. Tout déplacement avantageux de la frontière peut laisser les non-innovateurs à la traîne; autrement dit, leur efficience peut diminuer quand le progrès technique augmente. Si la diffusion des améliorations technologiques des chefs de file vers les suiveurs de la branche d'activité est lente, l'inefficience augmente.

En se basant sur des données canadiennes et américaines sur le secteur des entreprises et sur le secteur de la fabrication qui en fait partie, la présente étude aboutit aux conclusions suivantes.

1) Au niveau agrégé du secteur des entreprises, de 1981 à 2000, ce sont les États-Unis qui ont établi la frontière d'efficience technique de l'économie nord-américaine. Le secteur canadien des entreprises n'était pas loin derrière cette durant les périodes 1981 à 1987. La période 1987 à 1992 montre une chute de l'efficience du secteur canadien. En 1992, le niveau d'efficience a atteint 90 % de celui du secteur des entreprises américain. À partir de 1993, le secteur canadien des entreprises a vu augmenter son efficience technique et, à la fin des années 90, il avait pour ainsi dire regagné le terrain perdu à la fin des années 80 et au début des années 90. L'analyse ne permet pas de préciser si le regain d'efficience des entreprises canadiennes est attribuable à des forces cycliques ou à l'évolution des tendances sous-jacentes, mais elle indique que la poussée récente de la productivité est attribuable à une augmentation de l'efficience technique du Canada.

2) Durant toute la période étudiée, la croissance de la productivité dans le secteur des entreprises au Canada accusait un retard par rapport aux États-Unis largement en raison de la détérioration de l'efficience technique au Canada. Le problème majeur semble donc être la lenteur de la diffusion des technologies de la meilleure pratique au Canada.

3) Le secteur de la fabrication constitue un cas de figure semblable. En effet, comme pour le secteur des entreprises, l'écart de productivité en faveur des États-Unis observé de 1981 à 1997 est attribuable à une perte d'efficience plus rapide au Canada qu'aux États-Unis. Le rythme de croissance du progrès technologique a été à peu près le même pour les deux pays (7,5 % pour le Canada et 7,6 % pour les États-Unis).

4) La distribution de l'efficience technique du secteur nord-américain de la fabrication a subi un déplacement important. En 1982, le niveau d'efficience de toutes les 38 branches manufacturières était supérieur à 0,70, (le niveau 1 indique que l'industrie est techniquement efficiente) alors qu'en 1988, cela n'était le cas que pour 17 branches d'activité et en 1997, que pour six d'entre elles. Des 17 branches d'activités les plus efficientes en 1988, six seulement étaient canadiennes et des 7 branches d'activité les plus efficientes en 1997, trois seulement l'étaient. Deux phénomènes se dégagent. Premièrement, l'asymétrie de la courbe de distribution de l'efficience technique a changé au fil des ans. Deuxièmement, une forte proportion de branches d'activités canadiennes est devenue plus efficiente vers le milieu des années 90. Par exemple, en 1997, parmi les branches d'activités nord-américaines dont l'efficience technique était la plus faible, une sur deux était canadienne. Ceci constitue une baisse importante par rapport à 1988, année où deux industries canadiennes sur trois affichaient la plus faible efficience technique.

I. Introduction

L'écart de productivité entre le Canada et les États-Unis continue de retenir l'attention des économistes et des responsables de politiques publiques. Cette question suscite encore plus d'intérêt en raison de l'Accord de libre-échange entre le Canada et les États-Unis et de ses répercussions sur le volume des échanges, le niveau de vie et le développement industriel.

Même si l'écart de croissance de la productivité entre le Canada et les États-Unis a diminué de façon générale durant les années 60 et 70, des données recueillies récemment montrent que cette convergence a pris fin, ce qui a déclenché le soi-disant « débat sur la productivité au Canada ». Bien que le débat ait porté surtout sur l'écart de productivité qui existe entre le Canada et les États-Unis, curieusement, on n'a pas essayé d'en cerner les raisons éventuelles ni de les quantifier. Le présent document exploite l'approche frontière de la mesure de la productivité pour quantifier dans quelle mesure cet écart découle des déplacements de la frontière de production (progrès technologique) ou encore du fait que des entreprises s'approchent de la frontière (efficience technique). Le progrès technologique résulte des déplacements de la frontière de production suite aux innovations qui mènent à l'adoption de la technologie de la meilleure pratique au Canada. Les améliorations d'efficience ont lieu quand les entreprises s'approchent davantage de la frontière de production de la meilleure pratique. Ceci résulte de la diffusion des technologies avancées des meneurs vers les suiveurs dans une industrie ou d'une industrie à l'autre[1].

Dans la poursuite de notre objectif, nous décomposons à l'aide de l'indice de Malmquist, la croissance de la productivité multifactorielle en deux composantes, soit les changements sur le plan de l'efficience, et du déplacement de la technologie au fil du temps. Nous appliquons une méthode mise au point par Färe et coll. (1989) pour construire une frontière nord-américaine à partir de données sur les secteurs des entreprises au Canada et aux États-Unis, les secteurs de la fabrication et les branches d'activité qui le composent. Nous comparons chaque branche d'activité ou secteur national à la frontière nord-américaine correspondante. On appelle « rattrapage » la mesure avec laquelle un secteur ou une branche d'activité donnée s'est rapprochée de la frontière nord-américaine et « progrès technologique » ou « innovation » la mesure avec laquelle la frontière sectorielle ou la branche d'activité se déplace pour chaque combinaison observée des intrants. Ensemble, ces deux changements permettent d'établir une version frontière du changement de la productivité multifactorielle.

---

[1] Le groupe de la productivité de la Division de l'analyse microéconomique produit un ensemble d'estimations non-paramétriques de la productivité multifactorielle qui concorde avec la meilleure pratique internationale exposée dans le Manuel de la productivité de l'OCDE (OCDE 2001). Toutefois, afin de se tenir au courant des faits nouveaux et de s'assurer le contrôle de la qualité des bases de données utilisées pour produire ces estimations, le groupe de la productivité met à l'essai d'autres méthodes de mesure de la productivité. Ainsi, les estimations dans le présent document sont le résultat d'un examen d'un nouveau domaine dans le cadre duquel on a séparé les gains de productivité des déplacements de la frontière de production et du rapprochement des entreprises qui ne sont pas sur la frontière. Les estimations présentées dans le présent document sont de nature expérimentale et diffèrent des estimations officielles qui se trouvent dans la base de données CANSIM de Statistique Canada.

Nous en arrivons à la conclusion que le « problème de productivité » qu'a connu le Canada durant la deuxième moitié des années 1980 est largement attribuable à une diminution de l'efficience — le Canada s'éloigne de la frontière nord-américaine. Par exemple, durant la période de 1981 à 1997 près du trois cinquième de l'écart de productivité en faveur des États-Unis était du à un déclin de l'efficience technique au rythme moyen de 0,3 % par an.

Au Canada, le problème d'efficience semble être généralisé à la plupart des grands secteurs. L'écart de productivité de 0,7 point dans le secteur de la fabrication est presque entièrement attribuable à la diminution plus rapide de l'efficience au Canada qu'aux États-Unis.

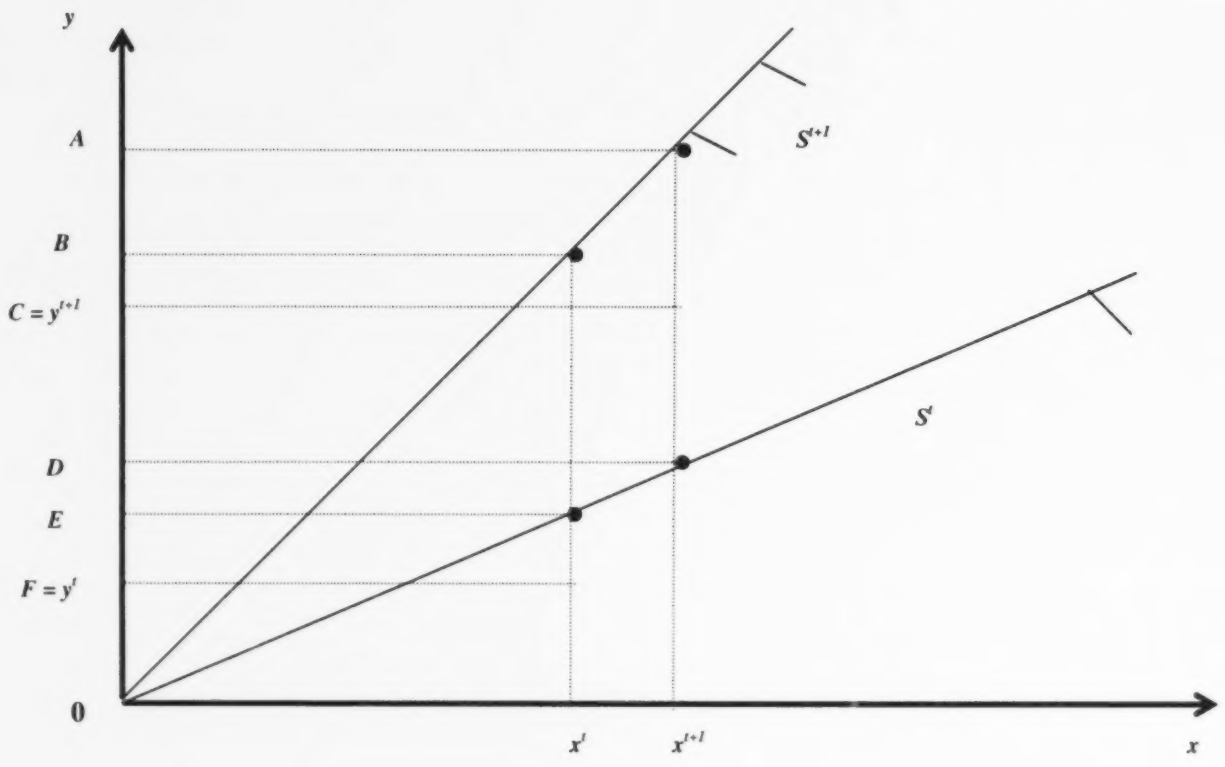
La suite de l'article est présentée comme suit. La section II comprend une brève introduction qui expose les grandes lignes de l'indice de productivité de Malmquist. Dans la section III, nous examinons les sources de données ainsi que leur analyse descriptive. La section IV traite de l'application de cette méthode aux données ainsi que les résultats obtenus et leurs implications. Une comparaison des résultats de l'analyse de la frontière à ceux obtenus par la procédure standard d'estimation de la productivité est présentée à la section V. À la section VI, nous présentons nos conclusions. L'annexe contient d'autres détails techniques sur l'approche frontière adoptée aux fins du présent article.

II. Mesure de la productivité : une approche frontière

Dans cette section, on donne une présentation intuitive de l'indice de Malmquist. Une description plus détaillée est donnée dans l'annexe. Elle décrit la mesure de distance qui sert à construire l'indice de Malmquist et une explication de la façon dont les mesures de la productivité sont calculées.

La figure 1 illustre le cas simple où un intrant x est utilisé pour produire un produit y et la technologie est caractérisée par des rendements d'échelle constants. Les technologies à rendements d'échelle constants pour la période t, S^t, et la période $t+1$, S^{t+1} sont délimitées par l'axe des abscisses et les rayons partant de l'origine. Les observations (x^t, y^t) portent sur la technologie en vigueur à la période t et pareillement en ce qui a trait à la période $t+1$.

Figure 1. Indice de productivité multifactorielle de Malmquist



À noter que l'efficience technique aux périodes t et $t+1$ sont données respectivement par $\frac{OF}{OE}$ et $\frac{OC}{OA}$.

Le taux de croissance de la productivité P_0 s'écrit comme :

$$P_0 = \frac{\frac{OC}{OX_{t+1}}}{\frac{OF}{OX_t}}. \qquad (1)$$

P_0 peut être réécrit comme :

$$P_0 = \left(\frac{\frac{OC}{OA}}{\frac{OF}{OE}}\right)\left(\frac{\frac{OA}{OX_{t+1}}}{\frac{OE}{OX_t}}\right). \qquad (2)$$

Le premier terme dans l'équation (2) est le ratio de l'efficience à la période $t+1$ par rapport à l'efficience à la période t. Le second terme est le ratio de la productivité de la frontière en $t+1$ par rapport à la productivité de la frontière en t. La croissance de la productivité telle que mesurée par P_0 peut résulter donc d'une amélioration de l'efficience ou d'un mouvement favorable de la frontière de production.

La productivité P_0 peut aussi être réécrite, du fait que $\frac{OD}{OX_{t+1}} = \frac{OE}{OX_t}$, comme :

$$P_0 = \left(\frac{\frac{OC}{OD}}{\frac{OF}{OE}}\right)\left(\frac{\frac{OD}{OX_{t+1}}}{\frac{OE}{OX_t}}\right) = \left(\frac{\frac{OC}{OD}}{\frac{OF}{OE}}\right). \tag{3}$$

De la même manière et puisque $\frac{OA}{OX_{t+1}} = \frac{OB}{OX_t}$, on peut réécrire P_0 comme

$$P_0 = \left(\frac{\frac{OC}{OA}}{\frac{OF}{OB}}\right)\left(\frac{\frac{OA}{OX_{t+1}}}{\frac{OB}{OX_t}}\right) = \left(\frac{\frac{OC}{OA}}{\frac{OF}{OB}}\right). \tag{4}$$

L'indice de Malmquist dans notre exemple est la moyenne géométrique des expressions dans (3) et (4), soit

$$M_o = \left(\frac{\frac{OC}{OD}}{\frac{OF}{OE}}\right)^{\frac{1}{2}}\left(\frac{\frac{OC}{OA}}{\frac{OF}{OB}}\right)^{\frac{1}{2}}. \tag{5}$$

L'équation (5) est la moyenne géométrique de deux termes, chacun de ces termes est le taux de changement de l'efficience technique. Par exemple, le premier terme dans (5) mesure l'efficience avec les intrants de la période $t+1$ et la frontière de production en t relativement à l'efficience calculée avec les intrants de la période t et la même frontière de production. Ce premier ratio mesure donc le changement dans l'efficience suite à un changement dans les quantités des intrants. En d'autres termes, c'est une mesure du rattrapage par rapport à la meilleure pratique. Le second terme dans (5) est une mesure similaire qui fait appel à la technologie en $t+1$. L'indice de Malmquist est donc la moyenne géométrique des changements dans la mesure d'efficience avec les technologies des deux périodes.

L'équation (5) peut être écrite sous la forme suivante :

$$M_o = \left(\frac{\frac{OC}{OA}}{\frac{OF}{OE}}\right)\left(\frac{OA}{OD}\cdot\frac{OB}{OE}\right)^{\frac{1}{2}}. \tag{6}$$

Le premier membre de l'équation (2) correspond au ratio des indices d'efficience technique aux périodes t et $t+1$ et mesure donc la variation de l'efficience dans le temps, c'est-à-dire si la production se rapproche ou s'éloigne de la frontière (effet de rattrapage). Le second membre est la moyenne géométrique de deux ratios : $\frac{OA}{OD}$, qui reflète ce que la technologie à la période $t+1$ permettrait de produire comparativement à la technologie à la période t étant donné l'intrant à la période $t+1$, $\frac{OB}{OE}$ est la même mesure mais avec l'intrant de la période t. Ainsi, la mesure du progrès technique est une moyenne géométrique de deux changements sur le plan de la technologie aux niveaux x_t et x_{t+1} des intrants. L'indice de Malmquist est donc une mesure jointe du mouvement de la frontière de production et du changement d'efficience.

L'indice de Malmquist et ses composantes sont calculés en supposant une technologie à rendements d'échelle constants. On s'attend à ce que la composante efficience technique saisisse les effets d'une diffusion de la technologie. Les variations de productivité attribuables à la variation de l'utilisation de la capacité et aux différences dans la structure de chaque branche d'activité se refléteront aussi dans les changements qui se produiront dans la composante l'efficience.

Les améliorations de la productivité se traduisent par des valeurs de l'indice de Malmquist supérieures à cent. La détérioration de la performance au fil du temps se reflète par une valeur de l'indice de Malmquist inférieure à cent. La même interprétation s'applique aux valeurs des composantes de l'indice de productivité multifactorielle globale. Les améliorations sur le plan de la composante efficience donnent des valeurs de l'indice supérieures à cent et sont considérées comme des signes de rattrapage de la frontière. Les valeurs des composantes peuvent se déplacer dans des sens opposés. Ainsi, dans une situation d'inefficience, la croissance de la productivité multifactorielle est définie comme étant l'effet net des variations d'efficience et des déplacements de la frontière de production; il s'agit dans ce dernier cas d'un progrès technologique[2].

Il est à noter que lorsque les mesures de distance sont utilisées avec des données d'industries plutôt que d'entreprises, on suppose implicitement que les proportions d'intrants qui établissent la frontière sont technologiquement possibles pour n'importe quelle industrie. Autrement dit, la technologie ne contraint pas une industrie à utiliser les mêmes proportions d'intrants qu'une autre industrie pour atteindre un même niveau de production réelle. Notre mesure de changement d'efficience dans le temps reflète donc la mesure avec laquelle les ressources sont réallouées vers les industries où les intrants sont les plus productifs.

[2] Les méthodes standards de comptabilisation de la croissance et d'application d'indices non-paramétriques ne tiennent pas compte de l'inefficience.

III. Sources des données et statistiques descriptives

Le modèle exposé dans la section précédente est estimé à l'aide de données canadiennes et américaines du secteur des entreprises durant la période 1981 à 2000 et du secteur de la fabrication et les 19 branches d'activité qui le composent (niveau à deux chiffres de la classification des industries) durant la période 1981 à 1997.

À une exception près, les données sur la production réelle, l'intrant capital et l'intrant travail pour le secteur des entreprises, le secteur de la fabrication et les branches d'activité manufacturière qui le composent sont toutes puisées des bases de données KLEMS de Statistique Canada et du *U.S. Bureau of Labor Statistics (BLS)*. Les estimations de la production réelle du secteur de la fabrication proviennent du *U.S. Bureau of Economic Analysis* qui produit des estimations de la valeur ajoutée réelle comparables à celles produites au Canada. Il convient de donner une brève description de l'ensemble de données[3].

Production réelle : La mesure de la production du secteur des entreprises utilisée dans cette étude est fondée sur le produit intérieur brut réel. Cette mesure de la production se base et concorde avec les Comptes des revenus et des dépenses (CRD) et les *National Income and Product Accounts* (NIPA) préparés, respectivement, par Statistique Canada et *l'U.S. Bureau of Economic Analysis*.

La production réelle du secteur des entreprises est un indice annuel pondéré (indice de Fisher). Il est construit à partir du produit intérieur brut (PIB) en excluant les composantes suivantes : administrations publiques générales, organismes sans but lucratif et valeur de location des logements occupés par leur propriétaire. On fait les mêmes exclusions lorsqu'on calcule la production et les intrants en dollars courants (prix courants et prix constants) pour le secteur.

Pour le secteur de la fabrication et les industries qui le constituent, cette étude utilise la valeur ajoutée réelle comme mesure de la production (*gross output originating* pour les États-Unis). La valeur ajoutée est définie comme la production brute nette des transactions intersectorielles ou des intrants intermédiaires (biens et services acquis d'autres industries nationales ou étrangères)[4]. Donc, la valeur ajoutée représente la valeur qui est ajoutée par application du capital et du travail aux intrants intermédiaires pour transformer ces intrants en produits finis[5].

Intrant travail : Le Canada et les États-Unis utilisent le même concept d'intrant travail dans leurs estimations de la productivité multifactorielle au niveau du secteur des entreprises. Au Canada les données provenant d'enquêtes auprès des ménages sont utilisées pour ventiler le nombre d'heures travaillées selon la catégorie de travailleurs définie à l'aide de variables démographiques comme l'âge et le niveau de scolarité. L'intrant travail est alors la somme

---

[3] La production et les intrants ont été agrégés à partir du détail industriel et par type de bien et actif, puis l'indice de Malmquist a été appliqué au niveau de la production et des deux intrants combinés.

[4] L'output brut est égal aux ventes, plus les changements des inventaires.

[5] La production agrégée pour les États-Unis basée sur la notion de *gross output originating* (qui est analogue à la valeur ajoutée) tend à surestimer la croissance du PIB du secteur des entreprises comparativement au PIB de la demande finale.

pondérée du nombre d'heures travaillées par les diverses catégories de travailleurs, en choisissant comme coefficient de pondération le taux relatif de rémunération. Cette pondération permet de tenir compte de la différence dans la composition de la main-d'œuvre.

Au niveau du secteur des entreprises, le BLS classifie les heures travaillées en trois catégories — niveau d'éducation, expérience de travail et sexe. Les procédures économétriques sont utilisées pour supprimer les effets d'autres caractéristiques, telle que le statut marital, sur le salaire moyen dans chacun des trois groupes. Les salaires prédits par ces régressions sont ensuite utilisés par le BLS pour la pondération des heures travaillées. Au Canada, on répartit les heures travaillées selon le niveau d'éducation, l'âge et le type de travail. Le salaire moyen dans chaque groupe est alors utilisé pour fin de pondération sans correction pour les autres caractéristiques individuelles[6].

Contrairement au secteur des entreprises, l'intrant travail dans le secteur de la fabrication aux États-Unis est mesuré comme étant la somme des heures travaillées par toutes les personnes. Par conséquent, pour assurer la comparabilité d'un pays à l'autre aux fins de la présente étude, les estimations de l'intrant travail au Canada, à la fois, pour le secteur des entreprises et celui de la fabrication, ont été ramenées au plus petit dénominateur commun, qui est simplement la somme des heures travaillées. Ainsi, dans cette étude, les heures travaillées pour le Canada et les États-Unis sont agrégées directement selon les différentes catégories de travailleurs. Les taux de croissance qui en résultent ne tiennent pas compte des effets de changements dans la composition de la main-d'œuvre.

Intrant capital : L'intrant capital dans les mesures de la productivité multifactorielle au Canada et aux États-Unis est calculé en fonction du flux des services du capital physique, c'est-à-dire les machines et le matériel, les structures, les inventaires et les terrains. On détermine l'intrant pour les principaux secteurs de la façon suivante : 1) on élabore une gamme détaillée des stocks de capital pour diverses catégories d'actifs dans diverses branches d'activité; 2) on agrège les stocks de capital des diverses catégories de biens d'équipement pour chaque branche d'activité afin de mesurer l'intrant du capital pour la branche; 3) on agrège l'intrant capital dans les différentes branches d'activité pour mesurer l'intrant capital au niveau sectoriel.

Au Canada, les actifs sont détaillés selon 16 types de machines et de matériel (28 aux États-Unis), 6 types de structures non-résidentielles (22 aux États-Unis), 4 types de structures résidentielles[7] (9 aux États-Unis), 3 types d'inventaires (selon l'étape de transformation), et les terrains.

Pour chaque branche d'activité, les procédures de Statistique Canada sont appliquées à 122 branches (57 dans le cas des États-Unis) dans le secteur des entreprises, correspondant approximativement au niveau à 3 chiffres de la classification type des industries de 1980 (CTI) (au niveau à 2 chiffres dans le cas de la CTI de 1987 des États-Unis). Ces mesures des stocks de capital sont agrégées au moyen d'un indice en chaîne Fisher (Törnqvist dans le cas des

[6] Ne pas tenir compte les caractéristiques du travailleur a peu d'impact sur les estimations (voir Baldwin et Harchaoui, 2003, ch. 3)

[7] Les logements occupés par le propriétaire sont exclus pour les deux pays.

États-Unis). Le facteur de pondération pour chaque catégorie d'actifs est fondé sur la moyenne établie sur deux ans de la mesure de la part de la rémunération de capital revenant à cette catégorie d'actif dans chaque branche d'activité. L'allocation de la rémunération du capital de chaque industrie aux différents types d'actifs s'opère au moyen des estimations des « prix de location implicites ». Comme certaines catégories d'actifs ont tendance à se détériorer beaucoup plus rapidement que d'autres et étant donné que les règles fiscales sont spécifiques aux catégories d'actifs, le véritable coût économique de l'utilisation d'un dollar de stock varie considérablement selon la catégorie d'actifs.

Tableau 1a. Taux annuels moyens de croissance de la production et des intrants, 1981 à 1997, secteur des entreprises (1981=100)

	PIB réel		Services du capital		Heures	
	Canada	É.-U.	Canada	É.-U.	Canada	É.-U.
1981	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
1982	95,1	97,2	102,5	104,1	94,9	97,3
1983	98,0	102,5	104,9	107,4	94,9	99,1
1984	105,5	111,6	107,3	112,6	97,9	105,0
1985	110,9	116,4	111,2	117,9	102,1	107,2
1986	113,7	120,7	115,3	123,0	105,5	107,8
1987	119,5	125,1	120,9	127,1	109,8	111,1
1988	125,5	130,5	127,3	130,9	114,6	114,5
1989	128,3	135,1	133,9	134,9	117,3	117,3
1990	126,6	137,0	138,4	138,5	116,6	117,4
1991	120,9	135,4	141,7	141,7	111,7	114,6
1992	121,4	140,5	143,6	144,6	109,6	114,6
1993	125,2	145,1	145,0	148,3	111,3	117,6
1994	134,0	152,1	148,6	152,9	115,0	121,7
1995	139,3	157,0	152,7	158,7	116,9	124,8
1996	142,7	163,9	157,4	165,3	119,8	126,7
1997	151,2	172,5	165,1	173,4	123,8	130,4
1998	158,3	181,1	173,0	184,1	126,9	133,4
1999	167,8	189,7	180,4	195,0	131,3	136,1
2000	176,6	198,4	187,6	206,6	136,1	137,6
1981 à 2000	**3,0**	**3,7**	**3,4**	**3,9**	**1,6**	**1,7**
1981 à 1997	**2,6**	**3,5**	**3,2**	**3,5**	**1,3**	**1,7**

Au niveau sectoriel, on détermine l'intrant capital agrégé au moyen d'un indice en chaîne de Fisher pour le Canada et d'un indice de Törnquist pour les États-Unis. L'intrant capital de chaque branche d'activité est agrégé en utilisant comme facteur de pondération la part moyenne de chaque branche d'activité dans la part de la rémunération du capital.

Aux tableaux 1a et 1b, nous indiquons les taux annuels moyens de croissance de la production réelle et des intrants en termes réels pour le secteur des entreprises durant la période 1981 à 2000, et pour le secteur de la fabrication et les branches d'activité qui le composent pour la période 1981 à 1997.

Durant la période 1981 à 2000, le PIB réel du secteur des entreprises aux États-Unis a augmenté à un rythme supérieur à celui de son homologue au Canada (3,7 % aux États-Unis comparativement à 3,0 % au Canada), tandis que le taux de croissance de l'intensité du capital (mesuré par la croissance du rapport des services du capital aux heures travaillées) a augmenté à un rythme plus lent qu'aux États-Unis (1,8 % au Canada et 2,2 % aux États-Unis).

Les données sur le secteur de la fabrication ne portent que sur la période 1981 à 1997. Durant cette période, l'écart de croissance de la production était légèrement plus prononcé dans le secteur des entreprises (2,6 % pour le Canada contre 3,5 % pour les États-Unis), comparativement à la période 1981-2000. Les États-Unis ont aussi une croissance plus importante au niveau du secteur de la fabrication (3,8 % comparativement à 3,1 % au Canada), et un rythme de croissance plus rapide pour l'intensité du capital (2,6 % comparativement à 2,3 % au Canada).

Tableau 1b. Taux annuels moyens de croissance de la production et des intrants, 1981 à 1997, secteur de la fabrication

Branche d'activité	Canada			É.-U.		
	PIB réel	Services du capital	Heures	PIB réel	Services du capital	Heures
Secteur de la fabrication	**3,1**	**2,5**	**0,2**	**3,8**	**2,5**	**-0,1**
Aliments et produits analogues	1,2	0,8	-0,2	-0,6	1,8	0,3
Tabac	-1,8	-1,9	-4,0	-4,3	1,7	-3,1
Produits d'usines de produits textiles	0,6	0,0	-1,1	1,1	0,8	-1,4
Vêtements et produits connexes	0,2	0,3	-1,4	1,8	1,5	-2,1
Bois et produits en bois	0,5	1,0	1,4	4,2	-0,3	1,5
Meubles et articles d'ameublement	2,1	1,6	2,4	3,5	2,4	1,2
Papier et produits connexes	1,8	1,2	-0,8	0,3	2,4	0,4
Imprimerie et édition	0,1	2,7	1,5	2,9	4,4	1,7
Produits chimiques et produits analogues	3,6	0,4	0,1	1,8	2,6	-0,2
Produits raffinés du pétrole	0,8	-0,01	-0,03	8,1	0,9	-2,5
Produits en caoutchouc et produits divers en matière plastique	5,2	4,5	3,0	1,2	3,6	1,9
Cuir et produits en cuir	-4,1	-1,9	-4,5	1,1	-1,2	-5,6
Pierre, argile, verre et béton	0,6	-1,9	-0,1	2,3	-0,4	0,1
Métaux de première transformation	3,8	-0,6	-1,3	-0,4	-0,8	-1,9
Produits métalliques	1,7	1,5	1,7	6,0	1,5	0,1
Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique	8,2	1,6	1,2	10,5	3,9	-0,3
Matériel électronique et autre matériel électrique sauf les ordinateurs	1,9	4,5	-0,5	4,1	5,7	0,1
Matériel de transport	4,6	6,8	2,4	0,7	1,7	0,5
Instruments et activités diverses de fabrication	4,1	3,0	1,2	3,4	3,2	-0,5

Les taux annuels de croissance de la production aux États-Unis indiqués au tableau 1b attestent de variations sensiblement plus fortes sur l'ensemble du secteur de la fabrication comparativement au Canada. Certaines branches d'activité ont affiché une augmentation impressionnante de la production. Les taux de croissance les plus élevés ont été enregistré dans la branche des machines d'usage industriel et commercial et du matériel informatique au Canada (8,2 %) et dans celle des machines d'usage industriel et commercial et du matériel informatique aux États-Unis (10,5 %). La branche des instruments et activités diverses de fabrication a aussi enregistré un rythme de croissance de production relativement élevé dans les deux pays — 4,1 % au Canada et 3,4 % aux États-Unis. Pour le reste, la liste des industries ayant les taux de croissance les plus élevés est différente pour les deux pays : produits en caoutchouc et produits divers en matière plastique (5,2 %), matériel de transport (4,6 %) et produits chimiques (3,6 %) au Canada, produits raffinés du pétrole (8,1 %), matériel électronique (4,1 %), bois (4,2 %) et meubles (3,5 %) aux États-Unis.

La production a augmenté à un taux annuel modérément élevé, allant de 1,7 % à 2,1 % dans les branches des produits métalliques, du papier et des produits connexes et du matériel électronique et autre matériel électrique au Canada (de 1,8 % à 2,9 % dans les branches des vêtements et produits connexes, des produits chimiques et produits connexes, de la pierre, de l'argile, du verre et du béton ainsi que de l'imprimerie et l'édition aux États-Unis).

Par contre, la croissance de la production a été plutôt modeste, dans les branches des aliments et produits analogues (1,2 %), des produits raffinés du pétrole (0,8 %) et du bois et des produits en bois (0,5 %) au Canada et dans celles des produits en caoutchouc et produits divers en matière plastique (1,2 %) et du matériel de transport (0,7 %) aux États-Unis. La branche du cuir et des produits en cuir et de la branche du tabac au Canada ainsi que celle de la branche du tabac aux États-Unis ont enregistré un déclin dans le niveau de production.

IV. Méthodologie et analyse des résultats

1. Application de la méthode frontière aux données sur le Canada et les États-Unis

L'importante diversité de la croissance de la production et de l'utilisation des intrants dans les secteurs et à travers les branches d'activité durant la période fournit un ensemble de données riche qui nous permet de construire une frontière nord-américaine fondée sur la meilleure pratique. La frontière nord-américaine a été construite différemment pour le secteur des entreprises et celui de la fabrication. Le secteur des entreprises de chaque pays est comparé à la frontière de la meilleure pratique construite à partir des données annuelles sur la production et les intrants pour le Canada et les États-Unis.

Au niveau du secteur de la fabrication, nous avons procédé selon deux méthodes distinctes mais complémentaires :

Premièrement, les données sur la production et les intrants pour la même branche d'activité au Canada et aux États-Unis sont utilisées pour construire la frontière nord-américaine du secteur de la fabrication à chaque année. Ceci est fait pour chaque paire d'industries manufacturières (par exemple la branche du bois et des produits en bois au Canada est comparée à la branche du bois et des produits en bois aux États-Unis, etc.). Les résultats ainsi obtenus des indices de productivité, d'efficience et de progrès technologique pour la branche de la fabrication en question dans chaque pays, sont ensuite agrégés de manière à établir des estimations pour le secteur de la fabrication aux Canada et aux États-Unis. Les résultats obtenus par cette méthode sont présentés dans la section 2.2.

En deuxième lieu, nous avons aussi appliqué la méthode groupée à la mesure de productivité par la frontière dans le secteur de la fabrication. Chaque branche de la fabrication d'un pays donné au cours de chaque période est étalonnée par rapport à la frontière de production établie pour l'ensemble de l'échantillon des branches de la fabrication en Amérique du Nord pour la même période (par exemple la branche des bois et des produits en bois est comparée à toutes les autres branches qui composent la frontière de production). Bien que cette approche maximise l'échantillon utilisé à chaque année et donc peut produire des résultats plus robustes, elle présente l'inconvénient de supposer que toutes les branches de la fabrication utilisent la même technologie à chaque période. Les résultats de cette technique sont présentés dans la section 2.3.

Il est à noter que les deux approches mentionnées supposent, à des degrés variables, que le Canada peut adopter la technologie utilisée aux États-Unis. Au niveau du secteur des entreprises, l'approche frontière suppose implicitement que le Canada peut utiliser les mêmes proportions d'intrants et de production que les États-Unis en dépit des différences dans la structure industrielle. La première approche est moins sensible à cette hypothèse puisqu'elle construit une frontière pour chaque paire d'industries. Cependant, nous devons reconnaître que ces comparaisons sont effectuées seulement au niveau de la classification industrielle à 2 chiffres, ce qui peut occasionner des différences importantes en terme de composition. La deuxième approche utilisée pour le secteur de la fabrication qui compare une industrie de la fabrication en particulier à toute les autres industries de la fabrication suppose que n'importe quelle industrie puisse se rapprocher de la meilleure pratique peu importe l'industrie qui définit cette meilleure pratique.

À première vue cette hypothèse est restrictive. Le bois ne peut pas être produit par une raffinerie de pétrole. Cependant, nous examinons les branches d'activités à un haut niveau d'agrégation. À ce niveau d'agrégation, il est approprié de se demander comment les volumes agrégés du capital et du travail sont transformés en production et si une industrie est plus efficiente qu'une autre. Évidemment, il est vrai que ces agrégats seront affectés par la structure industrielle. Mais la structure industrielle affecte les moyennes et constitue un élément important dans la détermination de l'efficience de l'économie. Bien que les effets de la structure industrielle

pourraient être éliminées de l'analyse, cela reviendrait à ignorer une cause importante des différences.

2. *Analyse des résultats*

2.1 Secteur des entreprises

Le tableau 2 montre les valeurs moyennes de l'indice et de ses composantes durant la période 1981 à 2000 et différentes sous-périodes. Une valeur inférieure à cent de l'indice de Malmquist ou de l'une de ses composantes représente une diminution de la performance et vice versa au cas où la valeur est supérieure à cent. Il importe de rappeler que ces indicateurs saisissent la production par rapport à la meilleure pratique dans l'échantillon, soit celle que représente la frontière établie pour le Canada et les États-Unis.

D'après les données figurant au bas du tableau 2, on constate que, selon l'indice de Malmquist, la productivité multifactorielle de l'ensemble du secteur des entreprises au Canada a augmenté en moyenne d'environ 0,6 % pendant la période 1981 à 2000 (0,88 % aux États-Unis).

Près de trois cinquièmes de l'écart de productivité de 0,28 points de pourcentage en faveur des États-Unis est attribuable à une détérioration de l'efficience technique au Canada relativement aux États-Unis. Cette détérioration s'est effectuée à une moyenne annuelle de 0,16 % sur la période 1981 à 2000. Le reste de l'écart s'explique par un progrès technologique plus rapide aux États-Unis (0,88 % pour les États-Unis comparativement à 0,76 % pour le Canada).

Un examen de l'indice de l'efficience technique du secteur des entreprises révèle que les États-Unis ont établi la frontière du secteur des entreprises en Amérique du Nord pendant toute la période 1981 à 2000. Le secteur des entreprises au Canada a d'abord établi la frontière de production durant la période allant de 1981 à 1987 de concert avec celui des États-Unis, mais il n'a cessé de baisser ensuite pour atteindre 90 % de l'efficience de son homologue américain en 1992. L'efficience du secteur des entreprises au Canada a amorcé toutefois une tendance à la hausse en 1993 et, à la fin des années 90, elle avait presque regagné le terrain perdu à la fin des années 80 et au début des années 90. En 2000, pour la première fois depuis plus d'une décennie, le Canada a presque retrouvé son niveau d'efficience technique de 1988 (97,1 %); elle demeure toutefois inférieure à celle des États-Unis, bien que l'écart soit faible. Même si l'analyse ne permet pas de déterminer s'il y a lieu d'attribuer le rétablissement de l'efficience du Canada à des forces cycliques ou à une évolution de la tendance sous-jacente, elle indique simplement que la récente reprise de la productivité est attribuable à l'amélioration de l'efficience au Canada.

La performance du Canada et des États-Unis durant la première décennie présentent des différences par rapport à celles de la deuxième décennie. L'écart de productivité entre le secteur des entreprises au Canada et celui aux États-Unis a diminué presque de moitié pour atteindre 0,2 points de pourcentage en faveur des États-Unis durant 1988 à 2000, soit la moitié seulement de celui de la période 1981-1988 (0,42 points de pourcentage). Cela s'explique principalement par un plus petit écart sur le plan du progrès technique (qui est passé de 0,26 à 0,05 points de pourcentage).

Tableau 2. L'indice de productivité multifactorielle de Malmquist et ses composantes, 1981 à 2000, secteur des entreprises

	Productivité multifactorielle		Progrès technologique		Efficience	
	Canada	É.-U.	Canada	É.-U.	Canada	U.S.
1981	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1982	96.7	96.6	96.7	96.6	100.0	100.0
1983	99.5	99.2	99.6	99.2	99.9	100.0
1984	103.9	103.0	103.9	103.0	100.0	100.0
1985	104.9	103.6	104.9	103.7	100.0	99.9
1986	104.0	105.1	104.0	105.2	100.0	100.0
1987	104.2	105.7	104.2	105.7	100.0	100.0
1988	104.0	107.0	105.1	107.1	98.9	100.0
1989	101.1	107.8	105.6	107.8	95.6	100.0
1990	98.3	107.9	105.8	107.9	93.1	100.0
1991	96.2	106.7	104.9	106.7	91.8	100.0
1992	98.4	109.6	108.9	109.6	90.4	100.0
1993	100.0	110.4	109.5	110.4	91.2	100.0
1994	103.6	112.0	111.0	112.0	93.3	100.0
1995	105.9	112.1	111.8	112.1	94.8	100.0
1996	105.7	113.8	112.1	113.8	94.3	100.0
1997	107.8	115.2	113.1	115.2	95.3	100.0
1998	108.9	116.1	113.6	116.1	95.9	100.0
1999	110.8	116.9	114.6	116.9	96.7	100.0
2000	112.1	118.2	115.5	118.2	97.1	100.0
1981 à 2000	**0,60**	**0,88**	**0.76**	**0.88**	**-0.16**	**0.00**
1981 à 1988	**0,56**	**0,98**	**0.72**	**0.98**	**-0.16**	**0.00**
1988 à 2000	**0,63**	**0,83**	**0.78**	**0.83**	**-0.15**	**0.00**
1988 à 1997	**0.41**	**0.82**	**0.82**	**0.82**	**-0.41**	**0.00**
1981 à 1997	**0,47**	**0,89**	**0.77**	**0.89**	**-0.30**	**0.00**

2.2 Secteur de la fabrication

Nous avons examiné les sources de la croissance de la productivité multifactorielle au Canada et aux États-Unis au niveau du secteur des entreprises durant la période 1981 à 1997. Nous avons montré que l'écart de productivité (0,42 points de pourcentage) s'explique en majeur partie par la diminution de l'efficience au Canada.

Nous examinons maintenant les données sur les branches d'activité afin de retracer les sources de croissance de la productivité multifactorielle agrégée et de ses composantes à partir des branches d'activité manufacturières. Comme dans le cas du secteur des entreprises au Canada et aux États-Unis, les industries manufacturières prises individuellement sont étalonnées à la frontière basée sur une paire annuelle d'industries similaires. Le reste de cette section résume notre méthodologie et discute les résultats.

Tableau 3.1. L'indice de productivité multifactorielle de Malmquist et ses composantes, secteur de la fabrication, 1981 à 1997

	Productivité multifactorielle		Progrès technique		Changement de l'efficacité	
	Canada	É.-U.	Canada	É.-U.	Canada	É.-U.
Aliments et produits analogues	100,7	97,0	106,8	107,0	94,3	90,7
Tabac	102,1	98,0	108,3	110,0	94,3	89,0
Produits d'usines de produits textiles	100,9	101,2	106,6	107,2	94,6	94,4
Vêtements et produits connexes	100,8	101,6	107,3	107,5	94,0	94,5
Bois et produits en bois	99,5	104,1	106,5	106,3	93,5	98,0
Meubles et articles d'ameublement	100,1	101,3	106,1	106,9	94,4	94,7
Papier et produits connexes	102,0	98,5	107,6	106,9	94,7	92,1
Imprimerie et édition	97,4	99,2	106,4	106,9	91,6	92,8
Produits chimiques et produits analogues	102,9	99,6	106,1	107,1	96,9	92,9
Produits raffinés du pétrole	107,5	107,9	109,5	108,4	98,2	99,6
Produits en caoutchouc et produits divers en matière plastique	101,9	97,8	107,6	106,9	94,7	91,5
Cuir et produits en cuir	100,3	106,2	108,7	109,6	92,3	96,9
Pierre, argile, verre et béton	102,5	102,4	106,4	106,3	96,3	96,2
Métaux de première transformation	105,5	101,0	107,5	107,9	98,1	93,7
Produits métalliques	100,3	104,9	106,6	107,2	94,0	97,9
Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique	108,7	109,5	107,4	109,4	101,3	100,0
Matériel électronique et autre matériel électrique sauf les ordinateurs	102,5	102,5	109,8	109,6	93,4	93,5
Matériel de transport	101,9	99,1	109,4	106,8	93,1	92,8
Instruments et activités diverses de fabrication	101,6	103,0	107,2	108,9	94,7	94,5
Secteur de la fabrication (taux annuel moyen de croissance (en pourcentage)	**2,0**	**2,7**	**7,5**	**7,6**	**-5,0**	**-4,5**

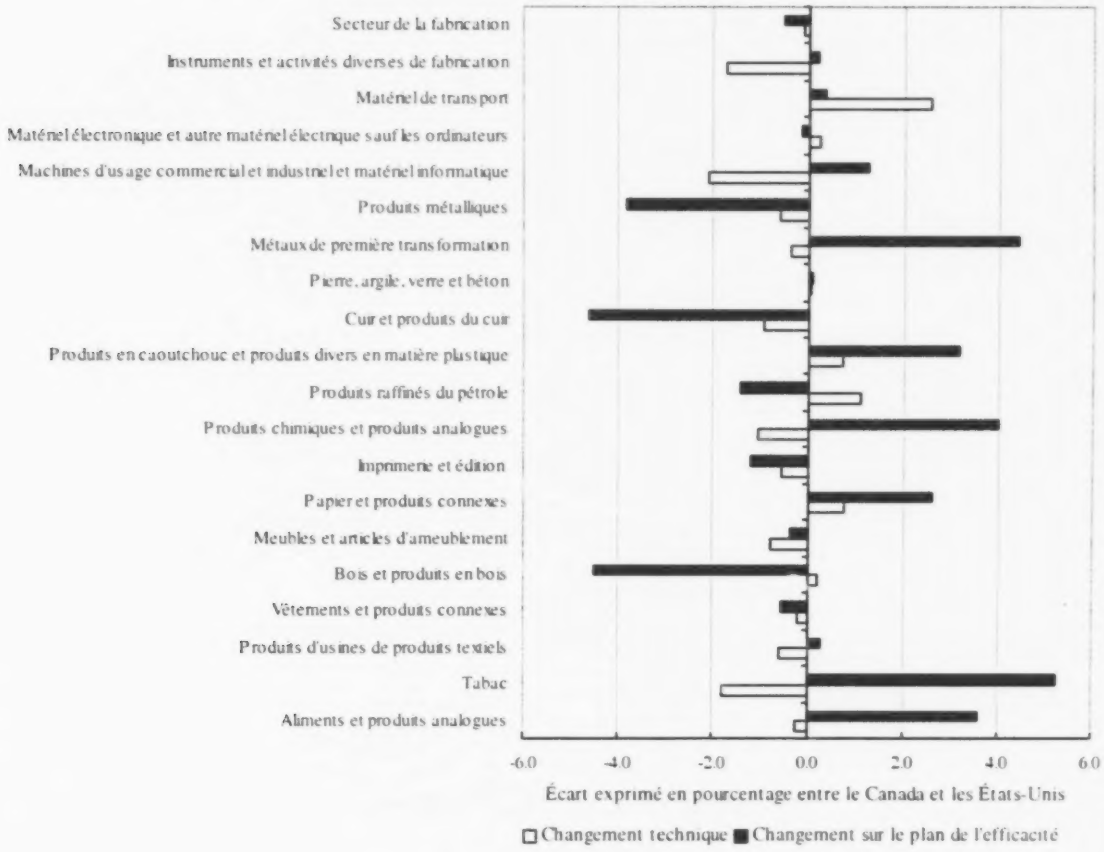
Dans le secteur de la fabrication, les résultats indiqués au bas du tableau 3.1 montrent que la productivité au Canada a augmenté durant la période 1981 à 1997 à un taux de croissance annuel moyen de 2,0 %, comparativement à 2,7 % aux États-Unis. Cet écart de productivité de 0,7 points de pourcentage est plus élevé que celui de 0,42 points de pourcentage observé pour le secteur des entreprises durant la même période.

L'écart de productivité du secteur de la fabrication au Canada par rapport à celui aux États-Unis durant la période 1981 à 1997, comme celle du secteur des entreprises, est attribuable à la diminution plus rapide de l'efficience au Canada par rapport aux États-Unis. Par contre, le rythme du progrès technologique a été presque identique dans les deux pays (7,5 % au Canada et 7,6 % aux États-Unis).

La variation de la productivité semble donc s'expliquer surtout par le progrès technologique dans le cas de la majorité des branches d'activité dans les deux pays durant toute la période étudiée. Toutefois, dans presque tous les cas, le progrès technologique s'est accompagné d'un changement en sens inverse sur le plan de l'efficience technique. Cette observation montre qu'il n'y a pas toujours une corrélation positive entre les notions de progrès technologique et de

changement sur le plan de l'efficience. Cela s'explique par le fait que la composante progrès technologique ne tient compte que de la possibilité de changement dans une branche d'activité donnée. Tout déplacement favorable de la frontière peut laisser les entreprises non innovatrices encore plus à la traîne, c'est-à-dire que le progrès technologique peut entraîner une diminution de leurs efficiences. Lorsque les entreprises qui suivent sont lentes à adopter les améliorations technologiques apportées par les entreprises chefs de file, leurs inefficiences augmentent. Ce résultat montre bien qu'il importe de faire la distinction entre le progrès technologique et le changement sur le plan de l'efficience.

Figure 2. Écart dans le changement de l'efficience technique et le progrès technologique entre les industries canadiennes et américaines de la fabrication, 1981 à 1997


Secteur de la fabrication
Instruments et activités diverses de fabrication
Matériel de transport
Matériel électronique et autre matériel électrique sauf les ordinateurs
Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique
Produits métalliques
Métaux de première transformation
Pierre, argile, verre et béton
Cuir et produits du cuir
Produits en caoutchouc et produits divers en matière plastique
Produits raffinés du pétrole
Produits chimiques et produits analogues
Imprimerie et édition
Papier et produits connexes
Meubles et articles d'ameublement
Bois et produits en bois
Vêtements et produits connexes
Produits d'usines de produits textiels
Tabac
Aliments et produits analogues
-6.0
-4.0
-2.0
0.0
2.0
4.0
6.0
Écart exprimé en pourcentage entre le Canada et les États-Unis
Changement technique
Changement sur le plan de l'efficacité

Nota : Un signe négatif indique que l'écart est en faveur des É.-U.

Même si le progrès technologique a augmenté à la même moyenne durant la période 1981 à 1997 dans les deux pays, il n'en demeure pas moins que les variations à travers les industries sont plus importantes (figure 2). Dans les branches du transport, des bois et des produits raffinés du pétrole, du caoutchouc et du papier le Canada a une longueur d'avance sur les États-Unis. La situation est tout autre pour le restant des branches d'activités, quoique la différence est minime. Sur le plan de l'efficience technique le Canada a l'avantage dans les branches des métaux, du caoutchouc, des produits chimiques, du papier, du tabac et des aliments. Cet avantage est cependant contre balancé par les branches de fabrication des produits métalliques, du cuir et du bois. Les branches du cuir et du bois ont même enregistré un recul en terme d'efficience.

2.3 Robustesse des résultats et prolongement de l'analyse

Étant donné que la méthode appliquée ci-dessus est fondée sur une paire d'observations sur le secteur des entreprises et les branches d'activité du secteur de la fabrication pour chacune des périodes étudiées, il importe de déterminer la robustesse des résultats au moyen de la méthode de regroupement appliquée aux fins de la mesure de la frontière. Selon cette méthode, on regroupe toutes les branches de la fabrication au Canada et aux États-Unis pour chaque période étudiée pour construire la frontière de production. Les deux méthodes donnent des résultats cohérents pour l'ensemble du secteur de la fabrication et des branches qui le composent. Selon la méthode de regroupement, la longueur d'avance des États-Unis sur le plan de la productivité dans le secteur de la fabrication est plus faible (0,5 points de pourcentage comparativement à 0,7 points de pourcentage selon la méthode utilisée ci-dessus), l'écart s'explique encore une fois par la diminution de l'efficience technique au Canada. Malgré certaines différences dans l'ordre de grandeur entre les deux méthodes au niveau des branches d'activité, les résultats demeurent cohérents, ce dont atteste une forte corrélation de rang (0,89).

Nous pouvons exploiter davantage la méthode de regroupement de manière à faire ressortir certains des enjeux intéressants au niveau des branches d'activité pour le secteur de la fabrication en Amérique du Nord. Tant au Canada qu'aux États-Unis, l'efficience a diminué rapidement (quoique davantage au Canada) durant chacune des sous-périodes de 1981 à 1988 et de 1988 à 1997 (voir le tableau 3.2). On peut en déduire qu'au fil des ans, la plupart des branches d'activité s'éloignaient de la frontière nord-américaine établie par les branches listées au tableau 4. Il importe aussi de signaler le changement important survenu dans la nature des branches d'activité qui établissent la frontière américaine depuis le milieu des années 90. Entre 1981 et 1995, la frontière était essentiellement établie par des branches canadiennes et américaines ayant des liens étroits avec le secteur primaire. Elles ont été relayées, ensuite, par les branches productrices de technologie de l'information.

Tableau 3.2. L'indice de productivité multifactorielle de Malmquist et ses composantes, secteur de la fabrication

	Productivité multifactorielle		Progrès technologique		Changement de l'efficience	
	Canada	É.-U.	Canada	É.-U.	Canada	É.-U.
			1981 à 1988			
Aliments et produits analogues	101.6	101.2	108.2	108.4	93.9	93.4
Tabac	103.9	90.4	110.3	110.8	94.2	81.6
Produits d'usines de produits textiles	102.4	103.7	107.9	108.4	94.8	95.7
Vêtements et produits connexes	99.8	102.3	108.5	108.9	92.0	93.9
Bois et produits en bois	102.3	107.9	108.1	107.9	94.7	100.0
Meubles et articles d'ameublement	98.7	101.0	107.2	108.0	92.1	93.4
Papier et produits connexes	100.2	102.1	108.4	108.1	92.5	94.5
Imprimerie et édition	100.0	97.8	107.6	108.3	93.0	90.4
Produits chimiques et produits analogues	105.7	105.1	107.3	108.8	98.5	96.7
Produits raffinés du pétrole	109.4	110.3	111.1	110.3	98.6	100.0
Produits en caoutchouc et produits divers en matière plastique	101.5	103.1	109.1	107.9	93.0	95.5
Cuir et produits en cuir	101.1	103.6	109.5	110.7	92.3	93.5
Pierre, argile, verre et béton	105.7	103.6	108.0	107.6	97.9	96.2
Métaux de première transformation	104.3	99.8	108.7	110.5	95.9	90.3
Produits métalliques	101.4	104.5	108.1	108.9	93.8	96.0
Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique	104.9	107.3	110.1	110.4	95.3	97.2
Matériel électronique et autre matériel électrique sauf les ordinateurs	101.0	105.2	110.9	110.1	91.1	95.6
Matériel de transport	101.4	105.1	108.9	108.2	93.1	97.1
Instruments et activités diverses de fabrication	105.0	104.8	109.0	109.8	96.3	95.4
Secteur de la fabrication (taux annuel moyen de croissance (%)	**2,6**	**3,8**	**8,6**	**9,0**	**-5,4**	**-4,7**
			1988 à 1997			
Aliments et produits analogues	100.0	93.7	105.5	105.9	94.7	88.5
Tabac	101.3	103.8	106.8	109.4	94.9	94.9
Produits d'usines de produits textiles	99.4	99.8	105.3	106.1	94.4	94.0
Vêtements et produits connexes	100.5	101.3	106.1	106.4	94.7	95.2
Bois et produits en bois	97.5	101.2	104.8	104.6	93.0	96.8
Meubles et articles d'ameublement	101.1	101.4	105.0	105.8	96.2	95.9
Papier et produits connexes	102.0	96.2	106.9	105.8	95.4	90.9
Imprimerie et édition	95.8	99.8	105.2	105.8	91.1	94.3
Produits chimiques et produits analogues	101.4	96.3	104.9	105.9	96.7	91.0
Produits raffinés du pétrole	106.6	106.3	108.3	107.0	98.4	99.4
Produits en caoutchouc et produits divers en matière plastique	101.7	94.5	106.5	105.9	95.5	89.2
Cuir et produits en cuir	99.4	108.0	108.0	108.7	92.1	99.3
Pierre, argile, verre et béton	100.1	101.8	104.7	105.0	95.5	96.9
Métaux de première transformation	105.5	102.4	106.5	105.9	99.0	96.7
Fabrication des produits métalliques	99.8	106.5	105.3	105.9	94.8	100.6
Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique	109.8	110.8	106.1	108.7	103.5	101.9
Matériel électronique et autre matériel électrique sauf les ordinateurs	103.0	100.8	109.0	109.1	94.5	92.4
Matériel de transport	103.2	95.7	109.5	105.5	94.2	90.7
Instruments et activités diverses de fabrication	101.7	102.3	105.9	108.2	96.0	94.6
Secteur de la fabrication (taux annuel moyen de croissance (%)	**1,5**	**1,8**	**6,7**	**6,5**	**-4,7**	**-4,4**

Tableau 4. Branches d'activité au Canada et aux États-Unis qui établissent la frontière d'efficience du secteur de la fabrication en Amérique du Nord

	Canada	É.-U.
1982	-	Matériel de transport
1983	Bois et produits en bois, matériel de transport	Produits raffinés du pétrole
1984	Métaux de première transformation, matériel de transport	Matériel de transport, produits raffinés du pétrole
1985	Bois et produits en bois	Produits raffinés du pétrole
1986	Bois et produits en bois, métaux de première transformation	Bois et produits en bois
1987	-	Bois et produits en bois, produits raffinés du pétrole
1988	-	Bois et produits en bois, produits raffinés du pétrole
1989	Produits raffinés du pétrole	Bois et produits en bois, produits raffinés du pétrole
1990	Produits raffinés du pétrole	Produits raffinés du pétrole
1991	Produits raffinés du pétrole	Produits raffinés du pétrole
1992	Produits raffinés du pétrole	Produits raffinés du pétrole
1993	Métaux de première transformation	Produits raffinés du pétrole
1994	Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique	Produits raffinés du pétrole
1995	Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique	Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique
1996	Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique	Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique
1997	Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique	Machines d'usage commercial et industriel et matériel informatique

Une autre constatation importante est celle du changement significatif survenu dans la distribution de l'efficience technique dans le secteur nord-américain et de l'augmentation de sa dispersion. Les figures 3 à 5 présentent en histogramme le niveau d'efficience technique pour les 38 branches d'activité en 1982, 1988 et 1997. En 1982, toutes les branches de la fabrication enregistraient un niveau d'efficience supérieur à 0,70, comparativement à 17 branches en 1988 (ou 45 % de toutes les branches de la fabrication) et 7 branches seulement (ou 18 %) en 1997. En 1988, seulement 6 de ces 17 branches étaient canadiennes (35 %), comparativement à 3 branches sur 7 (43 %) en 1997.

Nous pouvons tirer deux conclusions importantes : En premier lieu, la distribution de l'efficience technique, d'abord asymétrique vers la gauche, est devenue au fil des ans asymétrique vers la droite, comme en témoigne le niveau médian d'efficience technique qui est passé de 0,86 en 1982 à 0,68 en 1988 puis à 0,40 en 1997. En deuxième lieu, une forte proportion de branches d'activité canadiennes a augmenté leur efficience durant le milieu des années 90. Par exemple en 1997 une branche nord-américaine sur deux les moins techniquement efficientes était canadienne. Ceci représente une forte baisse par rapport à 1988, année ou nous comptions deux branches sur trois, mais néanmoins une proportion élevée par rapport au début des années 80.

Figure 3. La distribution des niveaux d'efficience technique au sein du secteur de la fabrication nord-américain, 1982

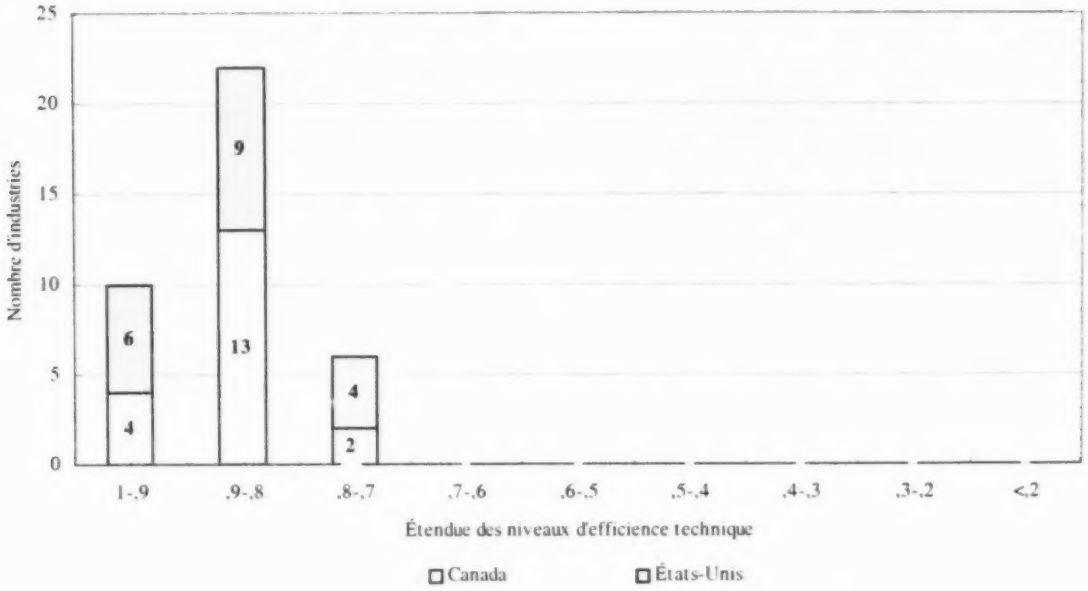


Figure 4. La distribution des niveaux d'efficience technique au sein du secteur de la fabrication nord-américain, 1988

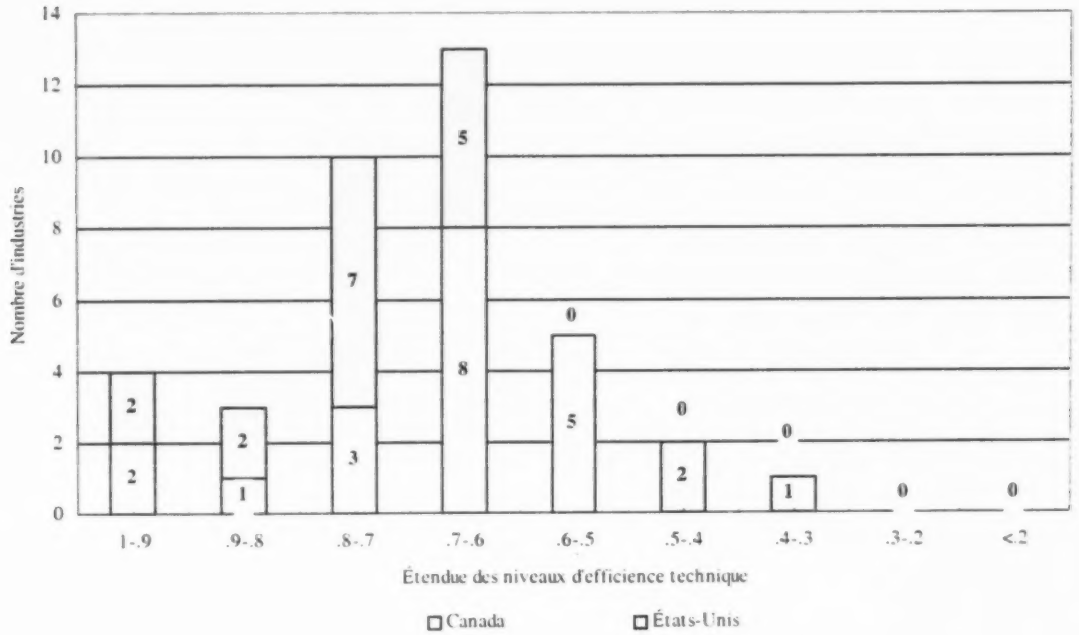


Figure 5. La distribution des niveaux d'efficience technique au sein du secteur de la fabrication nord-américain, 1997

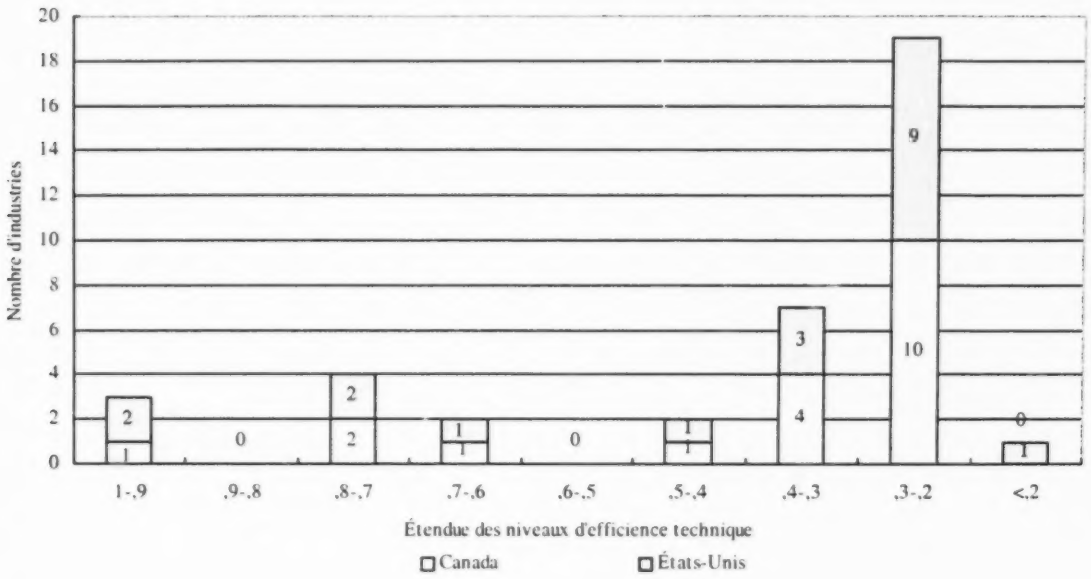
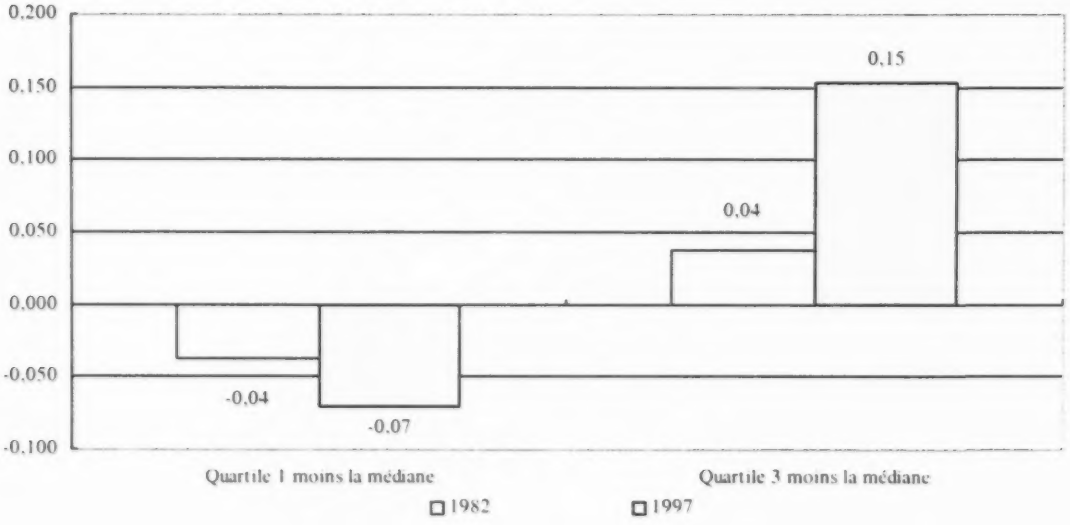


Figure 6. Interquartiles des niveaux d'efficience techniques : secteur nord-américain de la fabrication



La forte baisse du niveau médian d'efficience technique entre 1982 et 1997 ne permet pas de déterminer si les branches d'activité efficaces le sont devenues davantage et si celles qui sont moins efficaces ont vu leur efficience baisser encore au fil des ans. Un examen des inter-quartiles nous aide à répondre à cette question. La figure 6 montre que l'écart entre le quartile supérieur et la médiane a augmenté de 0,22 points de pourcentage entre 1982 et 1997, comparativement à l'écart de 0,08 points de pourcentage entre le quartile inférieur et la médiane pour la même période. Il semble donc que les branches efficientes le sont devenues davantage au cours de la période 1982 à 1997[8].

V. Comparaison entre la mesure frontière et la mesure de comptabilité standard

Les résultats présentés dans ce papier font appel à une approche similaire mais non identique à celle généralement utilisé dans la méthode standard d'estimation de la productivité. Il est donc utile de comparer les résultats obtenus selon la méthode frontière de la mesure de la productivité à ceux fondés sur le cadre comptable standard de la croissance de la productivité. La méthode standard de la croissance de la productivité multifactorielle est déterminée simplement à titre de valeur résiduelle, elle englobe l'effet de tout ce qui affecte l'efficience avec laquelle les intrants sont utilisés. Il ne s'agit donc pas simplement d'une mesure du taux de progrès technologique.

Le tableau 5 présente les estimations du taux de croissance moyen de la productivité multifactorielle selon la méthode standard de la comptabilisation de la croissance et la méthode de Malmquist. Pour l'ensemble du secteur de la fabrication, selon les deux mesures de la productivité, les États-Unis ont une longueur d'avance, bien que l'écart soit plus marqué selon l'approche frontière que selon la méthode standard de la comptabilisation de la croissance. Pareillement, l'approche frontière donne des variations (en termes d'écart-type) plus importantes entre les branches d'activité que la méthode fondée sur la comptabilisation de la croissance entre les deux pays (1,23 % pour la méthode frontière par rapport à 1,12 % pour la méthode de comptabilisation de la croissance dans le cas du Canada; 1,52 % par rapport à 1,06 % dans le cas des États-Unis). Toutefois, les deux méthodes donnent des résultats cohérents au niveau des branches, comme en atteste la corrélation des rangs élevée (0,73 pour le Canada et 0,82 pour les États-Unis). On obtient des résultats presque identiques selon une méthode ou l'autre pour les trois branches les plus performanté dans les deux pays. Mais ceci n'est pas le cas pour les trois branches les moins performantes.

[8] À partir des microdonnées du secteur de la fabrication au Canada pour la période 1973 à 1997, Braun et Townsend (2002) en sont arrivés à la même conclusion concernant la baisse d'efficience dans ce secteur au fil du temps. Leur travail reposent sur la définition de Baldwin (1992) de l'efficience des branches d'activité comme étant la productivité du travail dans la branche d'activité par rapport à la productivité du travail dans les établissements les plus productives.

Tableau 5. Croissance de la productivité multifactorielle 1981 à 1997 (Taux annuel moyen de croissance)

	Malmquist		Comptabilisation de la croissance	
	Canada	**É.-U.**	**Canada**	**É.-U.**
Aliments et produits analogues	0,7	-3,0	1,2	-2,0
Tabac	2,1	-2,0	-1,7	-4,7
Produits d'usines de produits textiles	0,9	1,2	1,2	1,1
Vêtements et produits connexes	0,8	1,6	0,2	1,7
Bois et produits en bois	-0,5	4,1	1,4	3,9
Meubles et articles d'ameublement	0,1	1,3	3,6	3,2
Papier et produits connexes	2,0	-1,5	1,4	0,1
Imprimerie et édition	-2,6	-0,8	-0,1	2,5
Produits chimiques et produits connexes	2,9	-0,4	3,7	0,8
Produits raffinés du pétrole	7,5	7,9	0,8	6,5
Produits en caoutchouc et produits divers en matière plastique	1,9	-2,2	5,3	0,7
Cuir et produits en cuir	0,3	6,2	-4,0	1,0
Pierre, argile, verre et béton	2,5	2,4	1,1	2,1
Métaux de première transformation	5,5	1,0	5,1	-0,9
Produits métalliques	0,3	4,9	2,1	5,6
Machines d'usage industriel et commercial et matériel informatique	8,7	9,5	5,3	9,8
Matériel électronique et autre matériel électrique sauf les ordinateurs	2,5	2,5	1,5	2,7
Matériel de transport	1,9	-0,9	4,5	0,2
Instruments and activités diverses de fabrication	1,6	3,0	4,0	3,2
Secteur de la fabrication	**2,0**	**2,7**	**2,7**	**3,0**

On constate d'importantes différences quantitatives dans certaines branches d'activité comme celles du tabac, ainsi que des machines d'usage industriel et commercial et du matériel informatique au Canada (celles du cuir et des produits en cuir ainsi que des produits des usines de produits textiles aux États-Unis). Dans toutes ces branches, le taux de croissance de la productivité est plus élevé selon l'indice de Malmquist que selon la méthode de comptabilisation de la croissance, et vice versa dans le cas des meubles et articles d'ameublement ainsi que du matériel de transport (dans le cas des produits en caoutchouc et produits divers en matière plastique ainsi que des meubles et articles d'ameublement pour les États-Unis).

VI. Conclusion

Dans le présent document, nous avons utilisé l'indice de Malmquist pour mesurer la croissance de la productivité multifactorielle et pour la décomposer en deux parties, soit les changements sur les plans de l'efficience technique et du progrès technologique. L'indice de productivité de Malmquist et la méthode fondée sur la comptabilisation de la croissance donnent tous deux des résultats cohérents en ce qui a trait à l'écart de productivité entre le Canada et les États-Unis. Toutefois, l'indice de Malmquist apporte un éclairage additionnel puisqu'il montre que l'écart

tient à la diminution de l'efficience au Canada non seulement au niveau du secteur des entreprises mais aussi, au niveau des branches manufacturière et non manufacturière qui le composent.

Le deuxième résultat important de notre étude est le changement marqué constaté dans la distribution de l'efficience technique dans le secteur de la fabrication en Amérique du Nord. L'efficience médiane est passée de 0,86 en 1982 à 0,68 en 1988 et à 0,40 en 1997. Pareillement, toutes les 38 branches d'activité manufacturière ont enregistré un niveau d'efficience supérieur à 0,70 en 1982, comparativement à 17 en 1988 et à seulement 7 en 1997. Seulement 6 des 17 branches efficientes étaient canadiennes en 1988 (35 %) comparativement à 3 sur 7 en 1997 (43 %).

À la lumière de ces résultats nous pouvons conclure que les changements technologiques récents ont eu des répercussions différentes sur les branches d'activité. Il est convenu que les gains de productivité des dernières années sont attribuables essentiellement à deux branches d'activités qui tournent autour des microprocesseurs. Ce papier permet de quantifier l'effet de ces différences. Ce qui importe pour le progrès de l'économie dans son ensemble c'est la vitesse avec laquelle les industries les moins efficientes rattrapent celles qui sont chefs de fil à mesure qu'elles incorporent les nouvelles technologies d'information dans leur processus de production.

Bien que ces résultats permettent aussi de répondre à la question qu'on s'est posée en début de cette étude, à savoir, expliquer l'écart de productivité entre le Canada et les États-Unis, elles sont seulement suggestives. En tirant des conclusions, les lecteurs doivent cependant tenir compte de certains faits et hypothèses implicites et explicites discutées ci-dessous.

La première question concerne la précision des estimations inhérentes à l'indice de Malmquist et autres mesures de productivité. Nous avons insisté (voir Baldwin et Harchaoui 2001) sur le fait que les estimations de productivité doivent être accompagnées par des intervalles de confiance. Ces derniers sont importants car les données utilisées pour le calcul sont affectées par une incertitude. En outre, certaines de ces données font l'objet de révisions.

Nous reconnaissons qu'il n'est pas facile de définir les intervalles de confiance qui doivent être utilisés dans les estimations de la productivité multifactorielle. Mais à titre indicatif, nous suggérons que l'intervalle a une étendue de 0,2 à 0,4 points de pourcentage. Bon nombre des différences entre le Canada et les États-Unis révélées par ce travail demeurent à l'intérieur de cet intervalle, voire même proches. Par conséquent, le lecteur devrait traiter les résultats présentés ici comme indicatifs des possibilités qui devraient être examinées avec des sources de données et des méthodologies alternatives. La reproduction des résultats est de mise avant de tirer des conclusions fermes.

La seconde question concerne la notion d'inefficience. Dans cette étude, nous avons postulé que les entreprises ou les industries peuvent opérer en deçà de la frontière et qu'une partie de la hausse de productivité normalement mesurée découle du déplacement de la production vers la frontière. Les économistes ne sont pas tous favorables à la notion que certaines entreprises dans une industrie peuvent être inefficientes. Ceux qui le sont peuvent ne pas être à l'aise avec la notion qu'une industrie puisse être inefficiente à partir des combinaisons d'intrants/production utilisées par d'autres industries. Il est facile d'arguer que les installations pétrolières ne peuvent produire l'acier ou que les technologies de production entre les industries sont tellement différentes qu'une industrie ne devrait pas être utilisée comme référence pour les autres en termes de la façon de transformer le travail et le capital en production.

Bien que ces préoccupations sont légitimes, nous croyons que le type d'exercice présenté ici est utile à ceux qui comparent la capacité des différentes économies à déplacer leurs ressources des usages moins productifs à ceux qui le sont davantage. Bon nombre d'observateurs ont noté qu'une des raisons pour lesquelles l'économie américaine est devenue plus productive que son homologue canadienne est que celle-ci à élargi son secteur des technologies d'informations plus rapidement que celle du Canada. Cette observation et la préoccupation qui lui est associée tournent autour de la croyance que la capacité d'une économie à tirer avantage des nouvelles industries est aussi importante que la capacité à produire ce qu'elle produit déjà de la façon la plus efficiente possible.

Il y a une autre raison pour laquelle la procédure de la frontière utilisée ici donne des résultats utiles même en présence des différences de structure industrielle. La procédure utilisée ici repose sur la mesure du changement. Nous sommes intéressés à savoir si les facteurs qui influencent l'efficience changent plus ou moins rapidement selon les pays. Il est intéressant de se demander si les changements associés à la révolution des technologies d'informations font évoluer les industries à différents rythmes. Supprimer l'effet de la structure industrielle reviendrait à ignorer le fait que les révolutions industrielles affectent les industries de façon différente et que le progrès réalisé par un pays dépend de sa capacité à réallouer les ressources vers des usages plus productifs.

Annexe : L'indice de Malmquist

Dans la présente annexe, nous exposons avec plus de détails techniques, l'indice que nous avons utilisé pour mesurer la croissance de la productivité multifactorielle. Cet indice est défini selon les fonctions distance de la production. Ces fonctions mesurent le rayon entre un vecteur de production donné et la production maximale possible. Cette production maximale se situe à la limite de la technologie de référence ou frontière de référence. Nous expliquons tout d'abord comment la frontière est construite à partir des données.

Nous illustrons cette méthode à l'aide de deux secteurs $i = 1,2$ à chaque période $t = 1,2,....,T$ qui utilisent les intrants $x_i^t = \left(x_{K,i}^t, x_{L,i}^t\right) \in R_+$ pour produire un seul produit $y_i^t \in R_+$. À partir d'une paire d'observations portant sur chaque période, nous construisons une technologie de production pour l'ensemble du secteur. Au lieu de préciser et d'estimer une fonction de production particulière, nous avons choisi de construire des technologies non-paramétriques, au moyen de l'analyse de l'activité. Cette méthode est aussi appelée méthode d'enveloppement des données (voir Charnes et al., (1978)).

Pour une période donnée t, et étant donné les observations pour chacun des deux secteurs $(x_{K,1}^t, x_{L,1}^t, y_1^t)$ et $(x_{K,2}^t, x_{L,2}^t, y_2^t)$, la technologie pour la période t est construite comme suit

$$S_{CRS}^t = \left\{\left(x^t, y^t\right) : z_1^t y_1^t + z_2^t y_2^t \geq y^t, z_1^t x_{K,1}^t + z_2^t x_{K,2}^t \leq x_K^t, z_1^t x_{L,1}^t + z_2^t x_{L,2}^t \leq x_L^t, z_1^t, z_2^t \geq 0\right\}. \qquad \text{(A.1)}$$

Cette formule prend en compte les rendements d'échelle constants (REC) et la libre allocation des intrants et de la production. Les niveaux de production peuvent être inférieurs ou égaux à des combinaisons linéaires de la production observée, c'est-à-dire que la production est allouée librement. Les niveaux des intrants peuvent être supérieurs ou égaux à des combinaisons linéaires des intrants observés, c'est-à-dire que les producteurs peuvent aussi allouer librement les intrants. La technologie et, par conséquent, les fonctions de distance qui y sont associées, sont indépendantes des unités de mesure et, même si les REC sont imposés dans chaque période, on permet d'avoir des technologies à REC différentes d'une période à l'autre.

Les variables de l'intensité z_1^t et z_2^t montrent à quel niveau d'intensité une activité donnée peut être utilisée aux fins de la production optimale. Selon la technologie à REC, il suffit que ces variables soient non négatives de manière à permettre à la technologie d'être représentée par un cône de données. Si nous ajoutons la contrainte voulant que la somme de z_1^t et z_2^t soit égale à un, la technologie qui en résulte prend la forme de combinaisons convexes des intrants et de produits observés, c'est-à-dire une technologie à rendements d'échelle variables (REV).

La fonction distance de la production pour à période t peut être définie comme suit (pour plus de détails, voir Shephard, 1970 ou Färe, 1988) :

$$\begin{aligned} D^t_{o,CRS}\left(x^t_i, y^t_i\right) &= \min\left\{\theta : \left(x^t_i, \frac{y^t_i}{\theta}\right) \in S^t_{CRS}\right\} \\ &= \left[\max\left\{\theta : \left(x^t_i, \theta y^t_i\right) \in S^t_{CRS}\right\}\right]^{-1} \\ &= \left[F^t_o\left(x^t_i, y^t_i\right)\right]^{-1}. \end{aligned} \tag{A.2}$$

Dans l'équation (A.2), $F^t_o(\cdot)$ représente la mesure de l'efficience technique axée sur la production de Farrell (1957). Ainsi, l'équation (A.2) montre que la fonction de distance et la mesure de l'efficience technique de Farrell sont équivalentes. Ce fait est important, puisque l'indice de productivité est décomposé en deux composantes, l'une mesurant le changement sur le plan de l'efficience et l'autre sur le plan du progrès technologique. Cet indice est connu sous le nom d'indice de Malmquist. Il a été exposé pour la première fois en tant qu'indice théorique par Caves, Christensen et Diewert (1982) (CCD), qui l'ont nommé indice de productivité (fondé sur la production) de Malmquist d'après Sten Malmquist qui avait montré plutôt comment construire des indices de quantité comme ratios des fonctions distance (voir Malmquist, 1953).

À la suite des travaux de Färe et al. (1994), l'indice de variation de la productivité de Malmquist est défini comme suit :

$$M_o(x^{t+1}_i, y^{t+1}_i, x^t_i, y^t_i) = \left[\frac{D^t_{o,CRS}(x^{t+1}_i, y^{t+1}_i)}{D^t_{o,CRS}(x^t_i, y^t_i)} \cdot \frac{D^{t+1}_{o,CRS}(x^{t+1}_i, y^{t+1}_i)}{D^{t+1}_{o,CRS}(x^t_i, y^t_i)}\right]^{\frac{1}{2}}. \tag{A.3}$$

Cet indice est la moyenne géométrique de deux indices de productivité de Malmquist, tels que définis par Caves et al. (1982) (CCD), soit :

$$M^t_{CCD} = \frac{D^t_{o,CRS}(x^{t+1}_i, y^{t+1}_i)}{D^t_{o,CRS}(x^t_i, y^t_i)} \tag{A.4}$$

et

$$M^{t+1}_{CCD} = \frac{D^{t+1}_{o,CRS}(x^{t+1}_i, y^{t+1}_i)}{D^{t+1}_{o,CRS}(x^t_i, y^t_i)}. \tag{A.5}$$

Une importante caractéristique de la version de l'indice de Malmquist de Färe et coll. (1994), équation (A.3), est que l'indice peut être décomposé en deux composantes indépendantes l'une de l'autre, soit le changement sur le plan de l'efficience $\left(ECH^t_i\right)$ et le progrès technologique (TCH) :

$$ECH^t_i = \frac{D^{t+1}_{o,CRS}(x^{t+1}_i, y^{t+1}_i)}{D^t_{o,CRS}(x^t_i, y^t_i)} \tag{A.6}$$

$$TCH_i^t = \left[\frac{D_{o,CRS}^t(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})}{D_{o,CRS}^{t+1}(x_i^{t+1}, y_i^{t+1})} \cdot \frac{D_{o,CRS}^t(x_i^t, y_i^t)}{D_{o,CRS}^{t+1}(x_i^t, y_i^t)} \right]^{\frac{1}{2}}. \tag{A.7}$$

Il convient de signaler que l'équation (A.6) est équivalente au ratio de l'efficience technique de Farrell durant la période t divisé par l'efficience technique de Farrell durant la période $t+1$, tandis que l'équation (A.7) est la moyenne géométrique de l'évolution technologique observée au niveau des intrants x^{t+1} et l'évolution technologique évaluée à x^t. Ainsi, l'équation (A.3) peut être formulée comme suit :

$$M_o(i,t,t+1) = MALM_i^t = ECH_i^t \times TCH_i^t \tag{A.8}$$

et on peut calculer pour chaque branche d'activité i les trajectoires dans le temps de la productivité, du changement sur le plan de l'efficience et du progrès technique.

Bibliographie

Baldwin, J. R. 1992. « Industry Efficiency and Plant Turnover in the Canadian Manufacturing Sector. » in R. E. Caves (Ed.), *Industrial Efficiency in Six Nations*, Chapter 17, MIT Press.

Baldwin, J. R. et T. Harchaoui. 2001. « Précision des mesures de la productivité, » Dans Baldwin, J. R. et al. *Croissance de la productivité au Canada*, Statististique Canada, N° 15-204-XPF au catalogue, Ottawa, chapître. 3.

Baldwin, J. R. et T. Harchaoui (eds) 2003. Aggregate Productivity Growth 2002. Catalogue No. 15-204. Ottawa, Statistique Canada.

Braun, N. et J. Townsend. 2002. « Efficiency and Dynamics in Canadian Manufacturing. » en cours.

Caves, D., L. Christensen, et W.E. Diewert. 1982. « The Economic Theory of Index Numbers and the Measurement of Input, Output and Productivity. » *Econometrica* 50: 1390-414.

Charnes, A., W.W. Cooper, W.W. et E. Rhodes 1978. « Measuring the Efficiency of Decision Making Units. » *European Journal of Operational Research* 2: 429-44.

Domar, E. 1961. « On the Measurement of Technical Change. » *Economic Journal* 71: 709-729.

Färe, R. 1988. Fundamentals of Production Theory, Springer-Verlag, Heidelberg.

Färe, R., S. Grosskopf, B. Lindgren et P. Roots. 1989. « Productivity Developments in Swedish Hospitals: A Malmquist Output Index Approach. » Discussion Paper No. 89-3, Southern Illinois University.

Färe, R., S. Grosskopf, M. Norris et Z. Zhang. 1994. « Productivity Growth, Technical Progress, and Efficiency Change in Industrilaized Countries. » *American Economic Review* 84: 66-83.

Farrell, M.J. 1957. « The Measurement of Productive Efficiency » *Journal of Royal Statistical Society*, Series A, General, 120: 253-81.

Malmquist, S. 1953. « Index Numbers and Indifference Curves. » *Trabajos de Estatistica* 4: 209-42.

OCDE 2001. Mesurer la productivité : Manuel de l'OCDE : mesurer la croissance de la productivité par secteur et pour l'ensemble de l'économie Statistics Directorate, Directorate for Science, Technology and Industry, 149 p.

Shephard, R.W. 1970. Theory of Cost and Production Functions, Princeton University Press

ANALYSE ÉCONOMIQUE
DOCUMENTS DE RECHERCHE

No.001 *Une comparaison de la croissance économique au Canada et aux États-Unis à l'âge de l'information 1981-2000 : L'importance de l'investissement dans les technologies de l'information et des communications,* ***Philip Armstrong, Tarek M. Harchaoui, Chris Jackson et Faouzi Tarkhani (1 mars 2002)***

No.002 *Parité de pouvoir d'achat : Le cas du Canada et des États-Unis,* ***Beiling Yan (mai 2002)***

No.003 *L'importance accrue des producteurs plus petits dans le secteur de la fabrication : Comparison Canada/Etats-Unis,* ***John Baldwin, Ron S. Jarmin et Jianmin Tang (mai 2002)***

No.004 *Statistiques sur le commerce des sociétés affiliées à l'étranger – 1999 : La livraison des biens et des services sur les marchés internationaux,* ***Colleen Cardillo (avril 2002)***

No.005 *(à venir)*

No.006 *(à venir)*

No.007 *Prise en compte des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre conventionnel d'estimation de la productivité,* ***Tarek M. Harchaoui, Dmitry Kabrelyan, Rob Smith (le 1 novembre 2002)***

No.008 *(à venir)*

No.009 *L'impact des émissions de gaz à effet de serre sur la croissance de la productivité au Canada, 1981-1996 : une approche expérimentale,* ***Tarek M. Harchaoui et Pierre Lasserre (le 1 novembre 2002)***

No.010 *Une approche frontière de la productivité multifactorielle au Canada et aux Etats-Unis,* ***Kais Dachraoui, Tarek M. Harchaoui (le 3 avril 2003)***